

现代电子制造系列丛书

电子装联操作工应知 技术基础

钟宏基 统雷雷 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书主要对现代电子装联工艺装备应知、电子装联环境及物料管理技术应知、现代电子装联安装技术应知、元器件基础知识、装联辅料基础知识、PCB 基础知识、SMT 关键工序及控制、再流焊接工艺基础知识、波峰焊接工艺基础知识、压接技术基础知识、焊点可靠性测试应知、现代电子装联质量管理应知进行了实用性介绍。电子制造工艺技术、电子制造工艺装备及电子制造工艺规范和标准体系是从事电子制造工艺工程师的三大基本功。工艺技术是方法，工艺装备是工具，工艺规范和标准体系是法规，必须熟练地掌握方法、工具和质量法规，并能在实际工作中做到融会贯通并相互优化，这是从事电子制造工艺工作的基本素质。

本书既可作为中兴通讯电子制造职业学院的教学用书，也可作为相关企业员工的专业技能培训教材，还可作为高等院校相关专业师生的教学参考书。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

电子装联操作工应知技术基础 / 钟宏基，统雷雷编著. —北京：电子工业出版社，2015.12
（现代电子制造系列丛书）

ISBN 978-7-121-27573-9

I. ①电… II. ①钟… ②统… III. ①电子装联 IV. ①TN305.93

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2015）第 271379 号

策划编辑：宋 梅

责任编辑：底 波

印 刷：

装 订：

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本：787×1 092 1/16 印张：21 字数：525 千字

版 次：2015 年 12 月第 1 版

印 次：2015 年 12 月第 1 次印刷

印 数：3 000 册 定价：63.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：（010）88258888。

总 序

当前，各种技术的日新月异以及这个时代的各种应用和需求迅速地推动着现代电子制造技术的革命。各门学科，比如，物理学、化学、电子学、行为科学、生物学等的深度融合，提供了现代电子制造技术广阔的发展空间，特别是移动互联网技术的不断升级换代、工业4.0技术推动着现代电子技术的高速发展。同时，现代电子制造技术将会在机遇和挑战中不断变革。比如，人们对环保、生态的需求，随着中国人口老龄化不断加剧，操作工人的短缺和生产的自动化，以及企业对生产效率提高的驱动，将会给现代电子制造技术带来深刻变革。不同的时代特征、运行环境和实现条件，使现代电子制造的发展也必须建立在一个崭新的起点上。这就意味着，在这样一个深刻的、深远的转折时期，电子制造业生态和电子生产制造体系的变革，为增强制造业竞争力提供了难得的机遇。

对于中国这个全球电子产品的生产大国，电子制造技术无疑是非常重要的。而中兴通讯作为中国最大的通信设备上市公司，30年来，其产品经历了从跟随、领先到超越的发展历程，市场经历了从国内起步扩展到国外的发展历程，目前已成为全球领先的通信产品和服务供应商，可以说是中国电子通信产品高速发展的缩影。在中兴通讯成功的因素中，技术创新是制胜法宝，而电子制造技术也是中兴通讯的核心竞争力。

无论是“中国智造”，还是“中国创造”，归根到底都依赖懂技术、肯实干的人才。中兴通讯要不断夯实自身生产制造雄厚的技术优势和特长，以更好地推动和支撑中兴通讯产品创新和技术创新。为此，2013年中兴通讯组建了电子制造职业学院，帮助工程师进修学习新知识和新技术，不断提升工程师的技术能力。为提升学习和培训效果，我们下功夫编写供工程师进修学习的精品教材。为此，公司组织了以樊融融教授为首的教材编写小组，这个小组集中了中兴通讯既有丰富理论又有实践经验的资深的专家队伍，这批专家也可以说是业界级的工程师，这无疑保证了这套教材的水准。

《现代电子制造系列丛书》共分三个系列，分别用于高级班、中级班、初级班，高级班教材有4本，中级班教材有6本，初级班教材有2本。本套丛书基本上覆盖了现代电子制造所有方面的理论、知识、实际问题及其答案，体现了教材的系统性、全面性、实用性，不仅在理论和实际操作上有一定的深度，更在新技术、新应用和新趋势方面有许多突破。

本套丛书的内容也可以说是中兴通讯的核心技术，现在与电子工业出版社联合将此丛书公开出版发行，向社会和业界传播电子制造新技术，使现在和未来从事电子制造技术研究的工程师受益，将造福于中国电子制造整个行业，对推动中国制造提升能力有深远的影响，这无疑体现了“中兴通讯，中国兴旺”的公司愿景和一贯的社会责任。

中兴通讯股份有限公司董事长



前 言

我国电子制造业从 20 世纪 80 年代中期发展到现在,已近 30 年,以表面组装技术(SMT)为主的电子装联技术,在许多领域中已经完全取代了传统通孔插装技术,并在各行业中以其自身的特点和优势,使电子装联技术发生根本性的、革命性的变化。电子装联技术是一门实践性很强的应用性学科,年轻的电子装联技术工作者只有系统而准确地掌握其基本技术,在实践中用心观察,不断地归纳和总结经验,增长实际技能,才能攀登电子制造技术的高峰。

本书作为电子装联工的入门基础技术知识,对于指导电子装联工有着很强的指导作用。

本书介绍了电子装联过程中所使用的波峰焊、选择焊、模组焊、再流焊、表面贴装、焊膏印刷、AOI、X-Ray、BGA 返修台等设备,以及电子装联过程中使用的主要物料,基于各工序,对物料保存的要求、SMT 工序、装焊工序和压接工序进行了阐述,着重讲述了现代质量管理理念和方法,为学生未来从事电子装联质量管理工作奠定基础。

本书共 12 章,第 1 章现代电子装联工艺装备应知,第 2 章电子装联环境及物料管理技术应知,第 3 章现代电子装联安装技术应知,第 4 章元器件基础知识,第 5 章装联辅料基础知识,第 6 章 PCB 基础知识,第 7 章 SMT 关键工序及控制,第 8 章再流焊接工艺基础知识,第 9 章波峰焊接工艺基础知识,第 10 章压接技术基础知识,第 11 章焊点可靠性测试应知,第 12 章现代电子装联质量管理应知。

本书由钟宏基和统雷雷主编。

在本书编著过程中得到了中兴通讯股份有限公司董事长的大力支持、关心和鼓励,并在百忙之中为本系列丛书作序,笔者十分感谢!同时该公司执行副总裁邱未召先生和高级顾问马庆魁先生也为本书的按时出版提供了指导。

作为前辈和老师,有着 80 岁高龄的樊融融研究员亲自审核了全书,并为该书提出了很多好的指导、意见和建议。

在本书编写过程中,还得到了制造中心工艺部汪芸部长、邱华盛总工程师的关心和支持,在此表示感谢!

作者在完成这一书稿过程中得到了制造工程研究院工艺研究部刘哲总工程师、贾忠中资深工艺专家、制造中心工艺部孙磊和史建卫资深工艺专家的指导与协助,以及王世堉、温粤晖、王玉、吴仙仙等同志的帮助,在此也表示衷心感谢。

在本书编写过程中参考了一些专业书籍和网上的相关资料,在此表示衷心感谢!

作 者

2015 年 7 月于中兴通讯股份有限公司

目 录

| | |
|---|----|
| 第 1 章 现代电子装联工艺装备应知 | 1 |
| 1.1 了解现代电子装联工艺装备的意义 | 2 |
| 1.1.1 现代电子装联工艺装备的基本概念 | 2 |
| 1.1.2 现代电子装联工艺装备的作用及分类 | 2 |
| 1.2 波峰焊接设备基本技术 | 3 |
| 1.2.1 波峰焊接 | 3 |
| 1.2.2 波峰焊接设备 | 4 |
| 1.3 选择焊接技术的发展及其应用 | 5 |
| 1.3.1 选择性焊接技术的发展及其应用 | 5 |
| 1.3.2 选择性焊接技术的适用性及其优势 | 6 |
| 1.3.3 选择性焊接设备分类 | 7 |
| 1.4 再流焊接设备技术及其应用 | 9 |
| 1.4.1 再流焊接的定义 | 9 |
| 1.4.2 再流过程中的温度特性 | 10 |
| 1.4.3 再流焊接设备的基本要求 | 12 |
| 1.5 表面贴装设备技术及其应用基础 | 12 |
| 1.5.1 表面贴装工程 (SMA) 的定义和特征 | 12 |
| 1.5.2 贴装设备的定义及特征 | 13 |
| 1.5.3 贴装设备技术概述 | 15 |
| 1.6 焊膏印刷设备技术及其应用 | 17 |
| 1.6.1 焊膏印刷及焊膏印刷机的定义 | 17 |
| 1.6.2 焊膏印刷机的构成 | 17 |
| 1.6.3 焊膏印刷设备的分类 | 20 |
| 1.7 自动光学检测设备 AOI 及其应用 | 20 |
| 1.7.1 在 SMA 生产中导入 AOI 的作用和意义 | 20 |
| 1.7.2 自动光学检测设备 (AOI) 的优点 | 21 |
| 1.7.3 自动光学检测设备 (AOI) 的结构组成 | 22 |
| 1.7.4 自动光学检测设备的分类 | 23 |
| 1.7.5 AOI 应用策略和技巧 | 24 |
| 1.8 X-Ray 检测设备及其应用 | 28 |
| 1.8.1 什么是 X-Ray 检测仪 | 28 |
| 1.8.2 X-Ray 的使用 | 28 |
| 1.8.3 BGA、 μ BGA (CSP) 焊点的 X-Ray 检测案例 | 29 |
| 1.9 BGA 等面阵列器件返修工作台 | 30 |
| 1.9.1 BGA 及 BGA 返修工作台 | 30 |

| | |
|--|-----------|
| 1.9.2 BGA 返修台的作用、返修基本方法及应遵循的原则 | 32 |
| 思考题 | 34 |
| 第 2 章 电子装联环境及物料管理技术应知 | 35 |
| 2.1 电子安装物理环境要求 | 36 |
| 2.1.1 名词定义 | 36 |
| 2.1.2 物理环境条件及场地文明卫生要求 | 36 |
| 2.2 通用元器件验收、储存及配送工艺应知 | 38 |
| 2.2.1 名词定义 | 38 |
| 2.2.2 通用元器件引线或端子镀层耐久性要求 | 38 |
| 2.2.3 通用元器件的验收、储存及配送管理 | 39 |
| 2.3 潮湿敏感表面元器件的入库验收、储存、配送及组装过程工艺应知 | 40 |
| 2.3.1 名词定义 | 40 |
| 2.3.2 MSD 的分类及 SMT 包装的分级 | 43 |
| 2.3.3 潮湿敏感性标志 | 45 |
| 2.3.4 MSD 的入库、储存、配送、组装工艺过程管理 | 46 |
| 2.3.5 焊接 | 53 |
| 2.4 静电敏感元器件验收、储存、配送、预加工、装焊工艺过程防护操作应知 | 55 |
| 2.4.1 名词定义 | 55 |
| 2.4.2 静电警告标识 | 56 |
| 2.4.3 SSD 敏感度分级和分类 | 56 |
| 2.4.4 SSD 的入库储存和配送、操作过程管理 | 57 |
| 2.5 温度敏感元器件验收、储存、配送、预加工、装焊工艺过程防护应知 | 61 |
| 2.5.1 名词定义 | 61 |
| 2.5.2 温敏元器件损坏模式 | 61 |
| 2.5.3 常见的温敏元器件 | 62 |
| 2.5.4 温敏元器件的入库、储存、配送、装焊工艺过程的特殊要求 | 62 |
| 2.6 焊料、助焊剂入库验收、储存、配送工艺应知 | 65 |
| 2.6.1 名词定义 | 65 |
| 2.6.2 入库验收、储存、配送技术要求 | 65 |
| 2.7 电子装联用焊膏验收、储存、配送、使用工艺应知 | 68 |
| 2.7.1 名词定义 | 68 |
| 2.7.2 焊膏的采购、验收、储存、配送及使用中的管理 | 68 |
| 2.8 SMT 贴片胶入库验收、储存、配送工艺应知 | 72 |
| 2.8.1 名词定义 | 72 |
| 2.8.2 贴片胶在生产中的作用 | 72 |
| 2.8.3 贴片胶使用性能要求 | 72 |
| 2.8.4 入库验收、储存、配送管理 | 73 |
| 2.9 UNDERFILL 胶、清洗剂、导热胶入库、验收、储存、配送工艺应知 | 74 |

| | |
|-------------------------------|-----------|
| 2.9.1 名词定义 | 74 |
| 2.9.2 常用辅料入库、储存及配送工艺要求 | 74 |
| 2.10 生产过程物料配送工艺要求 | 78 |
| 2.10.1 名词定义 | 78 |
| 2.10.2 上线物料的配送要求 | 78 |
| 2.10.3 配送通道 | 80 |
| 思考题 | 80 |
| 第3章 现代电子装联安装技术应知 | 81 |
| 3.1 电子电气组装技术要求 | 82 |
| 3.1.1 名词和定义 | 82 |
| 3.1.2 分级 | 82 |
| 3.1.3 通用要求 | 82 |
| 3.1.4 设备和材料 | 83 |
| 3.1.5 装配件 | 85 |
| 3.1.6 清洁度要求 | 86 |
| 3.1.7 焊接要求 | 89 |
| 3.1.8 涂覆灌封 | 92 |
| 3.1.9 返工和修复 | 94 |
| 3.1.10 其他要求 | 94 |
| 3.2 生产过程静电防护管理要求 | 95 |
| 3.2.1 静电产生的机理与危害 | 95 |
| 3.2.2 常见的静电防护措施 | 96 |
| 3.2.3 场地和总体要求 | 100 |
| 3.2.4 物料收发控制 | 100 |
| 3.2.5 生产过程静电防护 | 100 |
| 3.2.6 包装过程和半成品库静电防护 | 101 |
| 3.2.7 人员培训 | 101 |
| 3.2.8 检查 | 101 |
| 3.2.9 防静电人体综合测试 | 103 |
| 3.3 元器件成型工艺规范 | 103 |
| 3.3.1 成型的目的及意义 | 103 |
| 3.3.2 常见的成型设备 | 103 |
| 3.3.3 操作过程 | 104 |
| 3.3.4 工艺性要求 | 114 |
| 3.3.5 质量控制 | 114 |
| 3.4 PCB 板组装前预加工通用工艺规范 | 115 |
| 3.4.1 PCB 预加工的作用 | 115 |
| 3.4.2 操作程序 | 115 |

| | | |
|--------|---------------------|-----|
| 3.4.3 | 存放与周转 | 116 |
| 3.5 | PCB 板机械组装通用工艺规范 | 116 |
| 3.5.1 | 名词定义 | 116 |
| 3.5.2 | 机械组装的可接受条件 | 116 |
| 3.6 | PCB 板插装元器件通用工艺规范 | 117 |
| 3.6.1 | 名词定义 | 117 |
| 3.6.2 | 元器件位向及安装的可接受性条件 | 118 |
| 3.7 | 焊膏印刷通用工艺指南 | 122 |
| 3.7.1 | 名词定义 | 122 |
| 3.7.2 | 影响焊膏印刷工艺参数的主要因素及其控制 | 123 |
| 3.8 | SMT 电子元器件贴装通用工艺规范 | 129 |
| 3.8.1 | 名词定义 | 129 |
| 3.8.2 | SMC/SMD 贴装的通用要求 | 130 |
| 3.9 | 面阵列封装器件底部填充工艺规范 | 131 |
| 3.9.1 | 名词定义 | 131 |
| 3.9.2 | 底部填充工艺简介 | 131 |
| 3.9.3 | 底部填充操作要点 | 132 |
| 3.9.4 | 注胶后的质量要求 | 134 |
| 3.10 | SMT 贴片胶工艺规范 | 134 |
| 3.10.1 | 概述 | 134 |
| 3.10.2 | 名词术语 | 134 |
| 3.10.3 | 点胶 / 刮胶生产工艺流程 | 134 |
| 3.10.4 | 材料 | 134 |
| 3.10.5 | 施胶工艺过程控制和管理 | 135 |
| 3.10.6 | 施胶工艺参数设置和优化 | 136 |
| 3.10.7 | 质量控制 | 139 |
| 3.11 | PCBA 组件三防工艺规范 | 141 |
| 3.11.1 | 名词定义 | 141 |
| 3.11.2 | 三防涂覆要求 | 142 |
| 3.11.3 | 三防材料 | 142 |
| 3.11.4 | 涂覆方式 | 144 |
| 3.11.5 | 典型三防涂覆工艺流程 | 145 |
| 3.12 | PCBA 包装通用周转工艺规范 | 148 |
| 3.12.1 | 概述 | 148 |
| 3.12.2 | 材料和工具 | 148 |
| 3.12.3 | 包装方式 | 148 |
| 3.12.4 | 单板的周转 | 152 |
| | 思考题 | 155 |

| | |
|-----------------------|-----|
| 第 4 章 元器件基础知识 | 157 |
| 4.1 电子元器件封装技术 | 158 |
| 4.1.1 封装的定义 | 158 |
| 4.1.2 封装的作用 | 158 |
| 4.1.3 封装技术的发展趋势 | 159 |
| 4.2 常见封装介绍 | 159 |
| 4.2.1 插入式封装 | 159 |
| 4.2.2 表贴式封装 | 159 |
| 4.2.3 常用元器件方向的辨识 | 162 |
| 4.3 元器件应用的工艺性要求 | 162 |
| 4.3.1 可焊性要求 | 162 |
| 4.3.2 可焊端镀层材料 | 163 |
| 4.3.3 共面度要求 | 164 |
| 4.3.4 耐热性要求 | 164 |
| 4.3.5 尺寸、质量、公差与间距要求 | 164 |
| 4.3.6 外观要求 | 164 |
| 4.3.7 清洗和涂覆要求 | 165 |
| 4.3.8 包装要求 | 165 |
| 4.3.9 可靠性要求 | 165 |
| 思考题 | 166 |
| 第 5 章 装联辅料基础知识 | 167 |
| 5.1 什么是装联辅料 | 168 |
| 5.1.1 装联辅料的定义 | 168 |
| 5.1.2 装联辅料的分类 | 168 |
| 5.2 焊接材料 | 169 |
| 5.2.1 焊接材料的定义 | 169 |
| 5.2.2 焊接材料的分类 | 169 |
| 5.2.3 焊接过程 | 169 |
| 5.2.4 焊料合金 | 170 |
| 5.2.5 助焊剂 | 173 |
| 5.2.6 焊膏 | 175 |
| 5.2.7 焊料丝 | 178 |
| 5.2.8 其他焊料 | 179 |
| 5.3 清洗材料 | 179 |
| 5.3.1 为什么要清洗 | 179 |
| 5.3.2 清洗材料的分类 | 180 |
| 5.3.3 清洗方式 | 180 |
| 5.4 胶黏剂 | 181 |

| | | |
|--------------|---------------------------|------------|
| 5.4.1 | 胶黏剂的概念 | 181 |
| 5.4.2 | 胶黏剂的分类 | 181 |
| 5.4.3 | 胶黏剂的黏接原理 | 181 |
| 5.4.4 | 胶黏剂的应用 | 181 |
| 5.5 | 其他装联辅料简介 | 182 |
| | 思考题 | 182 |
| 第 6 章 | PCB 基础知识 | 183 |
| 6.1 | 概述 | 184 |
| 6.1.1 | 发展历程 | 184 |
| 6.1.2 | PCB 的分类 | 184 |
| 6.2 | 基材介绍 | 186 |
| 6.2.1 | 基板材料的标准 | 186 |
| 6.2.2 | 多层 PCB 用半固化片 (Prepreg) 简介 | 187 |
| 6.2.3 | 基板材料的技术发展趋势 | 187 |
| 6.3 | PCB 制作流程 | 188 |
| 6.3.1 | 单面板的制造流程 | 188 |
| 6.3.2 | 双面板的制造流程 | 188 |
| 6.3.3 | 多层板的制造流程 | 188 |
| 6.3.4 | 正片流程 | 188 |
| 6.3.5 | 负片流程 | 188 |
| 6.4 | 关键工序介绍 | 188 |
| 6.4.1 | 钻孔 | 188 |
| 6.4.2 | 孔金属化 | 189 |
| 6.4.3 | 电镀铜 | 190 |
| 6.4.4 | 图形转移 | 191 |
| 6.4.5 | 蚀刻和抗蚀膜剥离 | 193 |
| 6.4.6 | 黑氧化/棕化工序 | 193 |
| 6.4.7 | 层压 | 194 |
| 6.4.8 | PCB 表面涂 (镀) 覆层 | 195 |
| 6.4.9 | 阻焊剂涂覆 | 196 |
| 6.4.10 | 电气性能测试 | 197 |
| | 思考题 | 197 |
| 第 7 章 | SMT 关键工序及控制 | 199 |
| 7.1 | SMT 工程简介 | 200 |
| 7.1.1 | SMT 定义 | 200 |
| 7.1.2 | SMT 电子技术发展 | 200 |
| 7.1.3 | SMT 特点 | 201 |

| | | |
|--------------|-------------------|------------|
| 7.1.4 | SMT 工程的主要组成部分 | 201 |
| 7.2 | SMT 工艺流程 | 202 |
| 7.2.1 | SMT 基本工艺过程和设备配置 | 202 |
| 7.2.2 | 典型单板组装形式 | 202 |
| 7.2.3 | 典型工艺流程 | 203 |
| 7.2.4 | SMT 关键工序 | 205 |
| 7.3 | SMT 关键工序的控制与管理 | 206 |
| 7.3.1 | 单板生产前准备 | 207 |
| 7.3.2 | 单板印刷控制 | 207 |
| 7.3.3 | 单板贴片控制 | 209 |
| 7.3.4 | 单板回流控制 | 211 |
| 7.3.5 | 炉后质量检验 | 211 |
| 7.4 | SMT 过程控制中应注意的问题 | 212 |
| 7.4.1 | 关注检测过程 | 212 |
| 7.4.2 | 动作和措施的执行 | 212 |
| 7.4.3 | 正确分析缺陷原因 | 213 |
| | 思考题 | 213 |
| 第 8 章 | 再流焊接工艺基础知识 | 215 |
| 8.1 | 名词定义 | 216 |
| 8.2 | 再流焊接的物理过程 | 216 |
| 8.3 | 再流焊接工艺参数的确定 | 217 |
| 8.3.1 | 再流焊接温度曲线 | 217 |
| 8.3.2 | 业界常用的温度曲线类型 | 224 |
| 8.4 | 通孔再流焊接工艺 | 225 |
| 8.4.1 | 采用通孔再流焊接工艺的目的 | 225 |
| 8.4.2 | 通孔再流焊接工艺的特征 | 226 |
| 8.4.3 | 通孔再流焊接的质量要求 | 226 |
| 8.4.4 | 设计上的考虑 | 226 |
| 8.4.5 | 对再流焊接炉热量的要求 | 226 |
| 8.5 | 无铅再流焊接技术 | 227 |
| 8.5.1 | 无铅再流焊接的工艺要求 | 227 |
| 8.5.2 | 峰值温度的维护 | 227 |
| 8.5.3 | 回流炉加热系统 | 227 |
| 8.5.4 | PCBA 加热偏差 | 230 |
| 8.5.5 | 最佳回流温度曲线 | 230 |
| 8.5.6 | 氮气回流炉 | 231 |
| 8.5.7 | 自动过程监测 | 231 |
| 8.5.8 | 回流温度曲线优化 | 232 |

| | |
|-------------------------|------------|
| 8.5.9 结论 | 232 |
| 8.6 再流焊接工艺中常见的缺陷 | 232 |
| 思考题 | 235 |
| 第 9 章 波峰焊接工艺基础知识 | 237 |
| 9.1 波峰焊接技术简介 | 238 |
| 9.2 一般波峰焊机的基本组成及其功能 | 238 |
| 9.2.1 传送装置 | 238 |
| 9.2.2 助焊剂喷涂装置 | 239 |
| 9.2.3 预热装置 | 241 |
| 9.2.4 钎料波峰发生器 | 242 |
| 9.2.5 冷却系统 | 243 |
| 9.2.6 电气控制 | 243 |
| 9.3 波峰焊接工艺的关键参数 | 243 |
| 9.3.1 驻留时间 | 244 |
| 9.3.2 浸入深度 | 245 |
| 9.3.3 助焊剂及涂层 | 245 |
| 9.3.4 预热温度 | 246 |
| 9.3.5 钎料槽温度 | 246 |
| 9.4 波峰焊接常见缺陷及其抑制 | 248 |
| 9.4.1 虚焊 | 248 |
| 9.4.2 不润湿及反润湿 | 249 |
| 9.4.3 焊点轮廓数形不良 | 251 |
| 9.4.4 针孔或吹孔 | 252 |
| 9.4.5 拉尖 | 253 |
| 9.4.6 钎料珠及钎料球 | 254 |
| 9.4.7 桥连 | 255 |
| 9.4.8 金属化孔填充不良现象的发生及其预防 | 258 |
| 思考题 | 260 |
| 第 10 章 压接技术基础知识 | 261 |
| 10.1 压接技术简介 | 262 |
| 10.1.1 压接连接的定义 | 262 |
| 10.1.2 压接工艺的应用和压接端子的特点 | 262 |
| 10.2 压接连接机理 | 263 |
| 10.3 压接设备及工装 | 265 |
| 10.3.1 压接方式分类及设备 | 265 |
| 10.3.2 压接工装 | 267 |
| 10.4 压接操作通用要求 | 268 |




| | | |
|---------------|---------------------------|------------|
| 10.4.1 | 半自动压接单点通用要求 | 268 |
| 10.4.2 | 全自动压接单点通用要求 | 269 |
| 10.5 | 压接工艺过程控制 | 271 |
| 10.5.1 | 压接工艺过程控制的意义 | 271 |
| 10.5.2 | 常见压接不良 | 271 |
| 10.5.3 | 压接工艺过程控制 | 272 |
| 10.5.4 | 对压接件的控制 | 273 |
| | 思考题 | 273 |
| 第 11 章 | 焊点可靠性测试应知 | 275 |
| 11.1 | 概述 | 276 |
| 11.2 | 可靠性的基本概念 | 276 |
| 11.3 | 焊点质量基础 | 277 |
| 11.3.1 | 焊点外观质量 | 277 |
| 11.3.2 | 焊点内在质量 | 277 |
| 11.3.3 | 焊点质量鉴别方法 | 278 |
| 11.4 | 焊点可靠性测试方法 | 281 |
| 11.4.1 | 温度循环 | 281 |
| 11.4.2 | 温度冲击 | 282 |
| 11.4.3 | 高温老化 | 284 |
| 11.4.4 | 机械跌落 | 285 |
| 11.4.5 | 四点弯曲 | 286 |
| 11.5 | 焊接可靠性评价 | 287 |
| | 思考题 | 287 |
| 第 12 章 | 现代电子装联质量管理应知 | 289 |
| 12.1 | 电子装联质量管理的内容 | 290 |
| 12.1.1 | 概述 | 290 |
| 12.1.2 | 质量方针和目标 | 290 |
| 12.1.3 | 质量保证和质量评估 | 291 |
| 12.1.4 | 质量控制 | 291 |
| 12.1.5 | 质量改进 | 292 |
| 12.2 | 现代电子装联质量因素的控制 | 293 |
| 12.2.1 | 概述 | 293 |
| 12.2.2 | 人员的管理 | 293 |
| 12.2.3 | 设备的管理 | 294 |
| 12.2.4 | 材料的管理 | 296 |
| 12.2.5 | 工艺的管理 | 297 |
| 12.2.6 | 环境的管理 | 299 |

| | |
|---------------------|-----|
| 12.3 生产现场管理 | 301 |
| 12.3.1 概述 | 301 |
| 12.3.2 定置管理 | 301 |
| 12.3.3 目视管理 | 305 |
| 12.3.4 5S 管理 | 307 |
| 12.3.5 TCI 活动 | 312 |
| 思考题 | 314 |
| 参考文献 | 315 |
| 跋 | 317 |

第1章 现代电子装联工艺装备应知



本章要点

-  了解现代电子装联工艺装备的意义
-  波峰焊接设备基本技术
-  选择焊接技术的发展及其应用
-  再流焊接设备技术及其应用
-  表面贴装设备技术及其应用基础
-  焊膏印刷设备技术及其应用
-  自动光学检测设备 AOI 及其应用
-  X-Ray 检测设备及其应用
-  BGA 等面阵列器件返修工作台



1.1 了解现代电子装联工艺装备的意义

1.1.1 现代电子装联工艺装备的基本概念

1. 电子装联的含义

按照预定的电路设计功能，通过一定的技术手段将电子元器件、结构零部件组合成具有独立的电路功能和可靠的电流通路的工艺过程。

2. 传统电子装联与现代电子装联的不同

随着电子产品设计技术不断向轻、薄、短、小方向发展，元器件不断微细化，细间距 PCB 技术的大量应用，导致了电子装联工艺技术发生了革命性的变化。传统的一把钳子、一把烙铁的手工装联方式，迅速地被在 PCB 平面上通过自动插装机插装元器件+波峰焊接（THT）方式，或者通过贴装机贴装元器件+再流焊接（SMT）方式等所取代。人们便把这种新的装联方式称为现代电子装联方式，以区别于传统的电子装联方式。

3. 电子装联工艺技术

电子装联工艺技术是按照电子装备总体设计的技术要求，通过一定的连接技术手段将构成电子装备的各种各样的电子元器件、部件和组件等，在电气上互连成一个具有特定功能和预期技术性能的完整功能系统的全过程。它包含了从板级组装互连、机柜组装互连以及它们之间，通过线缆互连而构成一个满足预期设计技术要求的完整设备体系的所有工序的集合。

4. 电子装联工艺装备

电子装联工艺装备是电子产品后端制造工序过程中所使用的各种机、电装备、工模具、夹具、检测设备、测量器具等的总称。

进入 20 世纪 70 年代以来，随着元器件封装和电子装联工艺装备技术的进步，各种自动化装备（如自动、半自动插装机、波峰焊接机等）的大量应用，将板级组装 THT 工艺带入了高效的半自动化和自动化生产的新领域。SMT 的研究成果及其相应的新工艺设备，如焊膏印刷机、点胶机、贴片机、再流焊接设备等的投入工业运行，更是将电子装联板级组装工艺推向了一片崭新的天地。

1.1.2 现代电子装联工艺装备的作用及分类

1. 电子装联工艺装备的作用

电子装联工艺装备的作用，可归纳为下述几个方面：



① 电子装联工艺装备是实施电子产品制造后端工序自动化最为重要的技术装备和手段。

② 现代电子工艺装备是提高产品生产产能、优化工艺过程控制，提高生产效率，实现产品的生产模式由单一化生产方式转化为多品种、多规格、多层次的灵活多变的生产方式。这使企业能最大限度地快速适应市场变化。

③ 现代化的工艺装备大幅度地节省了人力资源和成本。

④ 由于大量使用自动化的工艺装备，使得在产品生产中免除了人的因素对产品生产质量的影响。

⑤ 有力地加快了产品设计推陈出新的速度，由于现代电子工艺装备均具有较好的柔性，使得设备的硬件部分更具通用性。

2. 分类

① 生产工序用设备。

- 穿孔插装（THT）用设备：如元器件成形设备、元器件插装机、浸焊机、波峰焊接机等。

- 表面贴装（SMT）用设备：如焊膏印刷机、点胶机、贴片机、再流焊接机等。

- 混合安装（CMT）用设备：如选择性焊接设备和模组焊接设备等。

- 其他：如压接设备、绕接设备、三防涂覆设备、PCB 分板设备、清洗设备等。

② 工艺监控用设备：如自动光学检测设备（AOI）、X 射线检测设备（X-Ray）等。

③ 返修用设备：如各种类型的 CGA、BGA、QFN、CSP、LGA、SMD、MLF、POP 等芯片返修工作台等。

1.2 波峰焊接设备基本技术

1.2.1 波峰焊接

1. 定义

波峰焊接（Wave Soldering），即将熔融的液态钎料借助于泵的作用，在钎料液面形成一特定形状的钎料波峰，装载了元器件的 PCB 以某一特定角度，并以一定的浸入深度穿过钎料波峰而实现连接点的焊接过程。国外也有的称之为群焊或流动焊。

2. 采用波峰焊接工艺的优点

① 省工省料，提高生产效率，降低成本。

② 提高焊点质量和可靠性。消除人为因素对产品质量的干扰和影响。严格按照波峰焊接规范要求焊接过的组件，其焊点的机、电、物、化等特性都将达到较理想的境地，其质量和可靠性都是可信赖的。



- ③ 改善了操作环境和操作者的身心健康。
- ④ 产品质量标准化。由于采用了机械化和自动化生产，就可以排除手工操作的不一致性，确保了产品安装质量的整齐划一和工艺的规范化、标准化。
- ⑤ 可以完成手工操作无法完成的工作。随着电子装备的轻、薄、短、小的发展趋势，面对精密微型化的安装结构，仅靠人的技能已不能胜任。

1.2.2 波峰焊接设备

1. 定义

实施波峰焊接工艺的专用设备称波峰焊接设备。

ELECTRA™ 机型的外形图如图 1.1 所示。

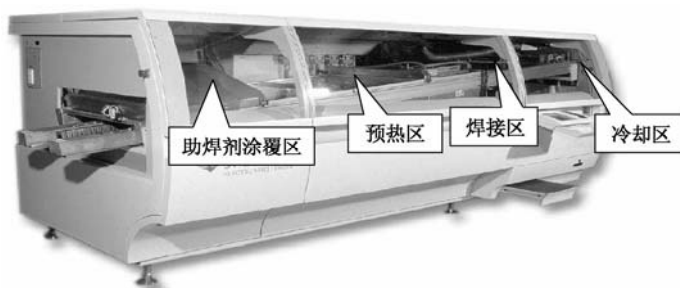


图 1.1 ELECTRA™ 机型的外形图

2. 分类

(1) 微型机

微型机设计的应用对象主要是科研院所、学校等研发部门。适应的生产范围是多品种、小批量、小型化的新产品试制，无须固定操作者。这类机型的设计特点是波峰宽度通常小于或等于 200mm，钎料槽容量小于或等于 50kg。具有小巧玲珑、占地小、易于搬运、操作特别简便的特点。

(2) 小型机

这类机型的应用范围是中、小批量生产单位及科研部门。它一般都采用直线式传送方式，效率较高，波峰宽度通常小于 300mm，钎料槽具有中等容量（单波机型通常小于 150kg、双波机型小于 200kg），操作系统比微型机复杂，外形也比微型机大，可以是台式，也可以是落地式。

(3) 中型机

中型机的应用对象是中、大批量生产单位和企业。其设计特点是：机型较大，整体布局都是采用机柜式结构，通常波峰宽度都在 300mm 以上，钎料槽容量大于 200kg（单波峰机）或 250kg（双波峰机）以上，最大的可达 700kg；采用框架式或爪式直线夹送方式；功能较



全，夹送速度快，运行效率高，可供用户选择的配件多，与前、后线体匹配性好。

(4) 大型机

大型机的主要特点是：功能完善、性能先进、控制智能化及系统的现代化。此类设备价格昂贵、维修复杂、焊接质量好、效率高、产能大，因此适合大批量生产。

1.3 选择焊接技术的发展及其应用

1.3.1 选择性焊接技术的发展及其应用

为了适应电子产品的轻、薄、短、小化及多功能、高可靠的发展要求，电子产品结构中采用 PCB 混合组装工艺方式的比例越来越大。不仅是 THC/THD 和 SMC/SMD 混合组装越来越普遍，甚至 THC、THD、SMC、SOIC、QFP、BGA、CSP 和 FCOB 同时混装在一块 PCB 上的现象也屡见不鲜，而且还出现了在 PCB 的两面同时混装着 THC/THD 和 SMC/SMD 的更为复杂的组装形式。

目前混合组装的焊接工艺较普遍采用的方法是再流焊和波峰焊相结合的方式。由于先进行再流焊，然后再进行一次波峰焊，PCB 和 SMD 等两次经受剧烈的热冲击，这是导致 PCB 翘曲变形及 SMD 可靠性下降的原因。因此，选择焊接技术便越来越受到重视。

组装 PCBA 中通常是 95%以上的 SMD 器件和少数的异形部件，如连接器、变压器、继电器、带引脚封装的厚膜电路、电解电容器等。这些器件的组装都是由 SMT 以外的设备和加工系统协同波峰焊生产线来补充完成的。高能耗，以及大量的助焊剂、焊料和氮气的消耗，使得此时的波峰焊工艺过程很不经济。而且用波峰焊焊接双面 PCB 板时，钎料槽中的钎料温度经常会使顶部器件焊点发生二次重熔。同时在与钎料波接触中发生的 PCB 板弯曲变形，会导致 SMD 器件在冷却过程中产生机械应力而发生故障。因此，人们不得不采取下述方式进行补救。

1. 人工烙铁焊接

在要求高质量和高可靠性的组装电路板领域中（如汽车行业的安全装置的组装电路板），使用人工焊接是不允许的。一个好的工艺在人工焊接中很难完全重现，它完全依赖于操作者的主观能力。焊接结果还受到烙铁头的高温 and 磨损的影响。不佳的工艺重复性，使得人工焊接被视为影响质量的隐患。

2. 采用阻焊掩模板来保护 PCBA

在采用复杂的阻焊掩模板来保护 PCB 焊接面上的器件，可避免接触到助焊剂和钎料，如图 1.2 所示。由于它们影响了组装电路板的均匀预热，增加了组装电路板上的污染和助焊剂残留，故需要更多的人工处理。此外，其紊乱的钎料流动也导致了焊接缺陷的增加。

当今电子产品要达到的严格质量标准表现在所使用的助焊剂上，特别是对于焊接后在



PCB 上留下的残留物会导致 PCBA 的污染。因为在特定的气候条件下它会导致焊接失效，会长期不断降低电路板的表面阻抗，特别是在细间距器件的应用中尤其值得关注。

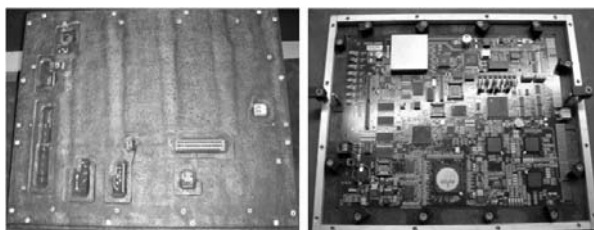


图 1.2 采用阻焊掩模板来保护 PCBA

3. 选择性焊接工艺应运而出

通孔元器件的选择性焊接。通常是 SMT 元器件已占主导，而通孔元器件只占 PCBA 上所有元器件中很小的比重，而且此种安装方式在相当长时期内还将持续下去。显然，业界为追求产品生产质量的高度一致性，努力摆脱手工焊和托架式阻焊掩模板波峰焊接，因此，选择性焊接工艺便应运而生，越来越受到人们的重视，这种需求最初是由高质量焊接要求的汽车行业驱动的。由于它在工艺上具备的一致性、可追溯、自动化作业、焊接的一次合格率高，图像处理硬件和软件中所提供的创新技术，使设备可以在特定的工艺窗口中运行，偏差很容易被发现和纠正。

1.3.2 选择性焊接技术的适用性及其优势

1. 选择性焊接技术的适用性

在混合安装中当通孔焊点数小于总焊点数的 10% 时，选择性焊接工艺将凸显出优势。微波峰选择焊、局域波峰选择焊、激光无助焊剂选择焊等设备将同台竞技。

2. 选择性焊接系统的技术优势

(1) 有利于产品的市场竞争

电子工业，包括元器件领域的迅速发展，使电子产品进一步向高功能和微小型化方向发展。例如，移动电子产品，由于全球化的竞争促使这类产品的制造商们，通过缩短其产品的市场反应时间来应对客户对产品不断增长的新需求。然而全球化竞争也使企业承受了巨大的降成本压力，面对不断提高的质量要求，生产成本和资金消耗的降低已成为企业的一个永恒的课题。除此之外，不断出台的全球环保法律规范也在给电子产品制造商不断带来新的挑战。所有这一切，均只能通过灵活多变的生产手段来解决。

(2) 有利于焊接质量的改善

在要求高质量和高可靠性的 PCBA 领域中（如汽车行业的安全装置），与波峰焊相比，选择性焊接工艺具有波峰焊接所不具备的某些优势。它一方面可以对逐个焊点或器件进行精



确的参数设定,另一方面通过精确设置的助焊剂喷涂参数,使其只施加于焊盘和引脚上,从而可确保 PCBA 的洁净度。

在用波峰焊焊接双面 PCB 板时,钎料槽中较高的焊料温度经常会使 PCB 顶部器件发生二次重熔。同时在与焊料波接触中发生的 PCB 板弯曲也会导致多点 SMD 器件在冷却过程中形成机械应力,导致 PCBA 发生缺陷或故障,这对 BGA 器件很重要,因为这个应力是无法通过视觉检查、ICT 或功能测试识别的。

选择性焊接只将热传导到需要焊接的焊盘和引脚处,这样就极大地消除了 PCB 板弯曲变形造成的缺陷。这些特性在使用无铅焊膏和水溶性助焊剂时尤为重要。无铅焊接需要相对高的温度,因此焊接过程给器件和 PCB 基材带来了更大损害的可能性。正是由于无铅焊膏更高的熔化温度和许多器件耐热温度的限制,从而明显地缩小了焊接的工艺窗口范围。

选择性焊接工艺中合适的喷嘴设计可使焊接参数与对应焊点相匹配,而无须让整个组装件承受不必要的热应力,故可大大降低损坏表面贴装器件的风险。

鉴于其工作方式,选择性焊接可以减少钎料槽中杂质铜的积累,试验表明,具有高效的预热系统的选择性焊接设备可以在相对较低的焊接温度下工作。选择性焊接工艺,可以在提高通孔填充时减少铜的溶解。

当通孔焊点数少于总焊点数的 95% 时,与掩膜波峰焊接工艺相比,选择性焊接工艺也具备一定的经济效益。例如,在组装的 PCBA 中通常是 99% 的 SMD 器件和少数的异形器件(如连接器、变压器、继电器、电解电容器等),若在再流焊接后再采用阻焊掩模板波峰焊接这些异形器件的引脚焊点,高能耗以及大量的助焊剂、焊料和氮气的消耗,使得阻焊掩模板波峰焊接工艺过程极不经济。例如,在生产某通信用 PCBA (20 个有引线元器件,45 个焊点)的个案中,相对于阻焊掩模板的波峰焊接过程,选择性焊接能降低的能耗和焊接辅料如下。

- 助焊剂消耗——减少 97%。
- 焊料渣——减少 95%。
- 能耗——减少 51%。
- 氮气消耗——减少 92%。

这其中还未包括用来做选择焊接的阻焊掩模板。

1.3.3 选择性焊接设备分类

1. 微波峰选择焊接设备系统

(1) 常用的微波峰选择焊接设备系统

微波峰选择焊接设备系统,目前世界上存在多种模式,其中以德国 Ersa 的较好,设备的外形如图 1.3 所示。

(2) 微波峰选择性焊接设备的特点

机械手操纵的微波峰选择性焊接设备在操作和焊接工艺方面具有高精度和高柔性的特性。机械手的运行半径涉及不同的助焊剂涂覆机、预热器和焊炉。这样一来,在同一台设备上将采用几种不同的焊接工艺。



图 1.3 ERSA（如德国 ERSA）

当在一台设备中同时配置粗细不同的多喷嘴焊接时，可使生产产能达到较高水平，如图 1.4 和图 1.5 所示。

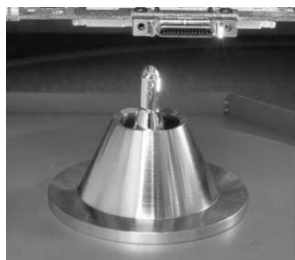


图 1.4 ERSA 3mm 喷嘴



图 1.5 ERSA 8mm 喷嘴

当然，在预热区，根据应用情况可以改变长度，可在软件控制的石英辐射体和常规模块之间进行选择。机械手操纵的微波峰设备还具有柔性的助焊剂涂覆和焊接应用的特性。

采用一个喷嘴的助焊剂涂覆机或小型助焊剂喷涂设备，其喷涂区域是受助焊剂喷嘴尺寸严格限制的，故它们不会污染周边区域，如图 1.6 所示。

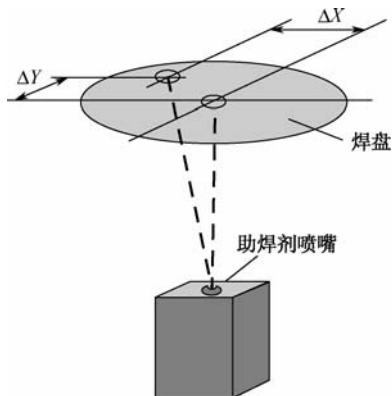


图 1.6 小型助焊剂喷涂设备

也可将同步助焊剂涂覆机与这些机器组合使用。此外，特别对于高产能情形，还可在焊接设备的前面安装一个独立的 XY 助焊剂涂覆模块，如图 1.7 所示。

采用单或多焊料波峰形式的微波峰焊接工艺可用另外的焊炉进行灵活升级，实现浸渍焊接，如对连接器的焊接，如图 1.8 所示。

采用浸渍焊接工艺，不仅可以克服几何形状上的一些难点，还可以达成精致的焊接。浸渍焊接工艺是一种常用的焊接工艺，尤其在汽车制造业应用中，焊接工艺突出的特点是产量高和周期短，其次才是柔性。

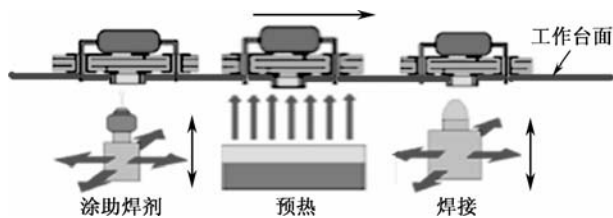


图 1.7 独立的 XY 助焊剂涂覆模块

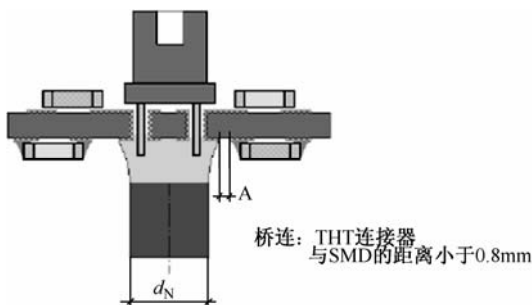


图 1.8 连接器的焊接

2. 激光选择性软钎焊接机器人

将激光光束应用于 PCB 板焊点的软钎焊工艺中，尚属一项新工艺技术。目前在电子制造业界，应用比较成熟的机型是 BeamWorks 新型的 Spark 100 在线选择性焊接系统。

Spark 100 在线选择性焊接系统功能简介: BeamWorks 新型的 Spark 100 选择性焊接系统 (见图 1.9) 是利用一种具有闭环温度和焊料量控制的功率可控激光管来进行通孔元件 (THT) 的焊接, 如图 1.10 所示。在生产线工作环境下, 结合创新技术的视像系统进行自行定位和 CAD 数据处理。



图 1.9 Spark 100 外观



图 1.10 设备内部布局

1.4 再流焊接设备技术及其应用

1.4.1 再流焊接的定义

再流焊接也称回流焊接或重熔焊接, 它是利用加热将覆有焊膏区域内的球形粉粒状钎料熔化、聚集, 并利用表面吸附和毛细作用填充到焊缝中而实现冶金连接的工艺过程。



随着 PCB 安装方法由传统的穿孔插入安装（THT）方式迅速向表面安装（SMT）方式扩展，再流焊法也正迅速发展成为现代电子设备自动化软钎接（以下简称焊接）的主流技术之一。其外形如图 1.11 所示。



图 1.11 BTU 普通热风再流焊接炉

1.4.2 再流过程中的温度特性

一种焊膏在再流过程中温度曲线的建立，是在综合考虑了焊膏、PCB 和设备等诸因素后的结果。对不同厂家生产的焊膏，不同的再流设备以及不同的组装件，其再流的温度曲线都不是唯一的。尽管其曲线形状各有差异，但通常其温区的划分大致如图 1.12 所示。

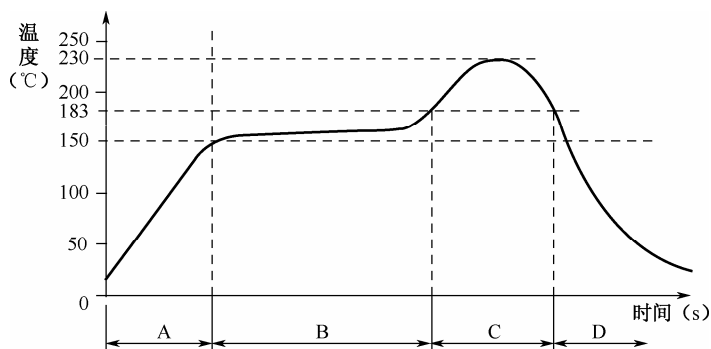


图 1.12 温度特性

1. A 区（初始温度爬升区）

设置 A 区的目的是将 PCB 的温度尽快地从室温提升到预热温度，预热温度通常略低于钎料的熔点温度。升温阶段的一个重要参数是升温速率，最理想的升温速率是 $(2\sim4)^\circ\text{C}/\text{s}$ 。上升速率太快易对 PCB 和元器件造成伤害甚至导致助焊剂发生爆喷；上升速度过慢，则溶剂挥发不充分。由于助焊剂中的溶剂都是高沸点物质，不可能快速地蒸发。加热速率通常受到元器件制造商推荐值的限制，为防止热应力对元器件的损伤，一般规定最大升温速率不能超过 $4^\circ\text{C}/\text{s}$ ，持续时间应在 2min 以内。

这一阶段 PCB 上不同的元器件的升温速率会有所不同，从而导致基板面上温度分布梯度的存在。但在此阶段，温度梯度的存在并无多大妨碍，因为此时所有点的温度均在钎料熔点温度之下。



2. B 区（温度渗透区或保温区）

设置温度渗透区的目的是确保整块 PCB 在进入再流焊的钎料熔化区之前，其上的温度达到均匀一致。如果 PCB 是单一的设计，那么在再流中热传递是非常均匀的，此时就可以不需要温度渗透区。但是，通常情况是 PCB 上其中某一部分比另一部分更热。为了能让温度变得均匀，就不得不让温度保持在一个接近恒定的值，让较冷的部位通过热传导作用赶上较热的部分。对于温差小的 PCB，可能只需设定一个渗透区，而对于复杂的 PCB，则可能需要设定 2 个甚至 3 个渗透区，否则在进入“钎料熔化区”前的渗透时间将不得不加长。PCB 达到钎料合金熔点时所花的时间，是要保证助焊剂溶剂得到足够的蒸发，树脂和活性剂能够充分发挥作用来清理焊接区域，去除其上的氧化膜。

决定温度渗透的次数和位置的主要因素是 PCB 的设计和再流炉能提供的热对流程度。一般选择温度为 70℃、100℃、150℃。通常保温区的温度范围可从 120~175℃升至焊膏熔点的区域，此时，焊膏中的挥发物被去除，助焊剂被激活。理想情况是：到保温区结束时，焊盘、钎料球及元器件引脚上的氧化物均被除去，整个 PCB 的温度达到平衡。保温区的持续时间一般为 80~90s，最长不要超过 2min。

3. C 区（钎料熔化区或再流区）

使 PCB 达到焊膏中钎料粉末熔点以上的“钎料熔化区”（以下简称“再流区”）是再流焊接温度曲线的心脏区域。PCB 上任何没有达到钎料合金熔点的部位都将得不到钎接，而超过熔点太多的部位可能要承受热损伤，还可能引起焊膏残留物烧焦，PCB 板变色或元器件失去功能。超过钎料熔点温度的目的是使钎料粉粒集成一个球，润湿被焊金属的表面。润湿是通过快速发生的毛细注入现象来完成的。当然，由于所有金属表面的氧化物和再流焊气体中的氧的妨碍，粉末钎料再流时的聚集和润湿过程是在焊膏中助焊剂的帮助下进行的，温度越高，助焊剂效率就越高，但再氧化速度也越快。

钎料合金的黏度和表面张力随温度的提高而下降，这有利于促进钎料更快地润湿。因此，理想再流焊是峰值温度与钎料熔融时间的最佳组合。设立的温度曲线目标是要尽量使温度曲线的再流区覆盖的体积最小。如有铅钎料 Sn37Pb 等合金的典型温度峰值范围为 210~230℃，钎料熔融时间为 30~60s，最长不得超过 1.5min。要特别注意的是，在再流焊接中进入再流区开始前，尽可能使 PCB 上的每一个部位都趋于相同的温度是非常重要的。在再流区时间过短，助焊剂未完全消耗，焊点中会含有杂质，易产生焊点失效等问题；若时间过长，则焊点中会形成过量的金属间化合物而使焊点变脆，对元器件形成热劣化。

4. D 区（钎料凝固区或冷却区）

焊膏中的钎料粉末一旦已熔化，并且已润湿了被焊的基体金属表面后，此时应尽可能快地冷却，这样就可获得光亮、敷形好、接触角小的优良焊点。缓慢冷却将使更多的基体金属溶入钎料里，生成粗糙而暗淡的焊点。在极端情况下，还可能溶解所有的基体金属，导致不润湿和不良的结合强度。基于上述角度，冷却速率希望快一些，如 5℃/s。然而冷却过快又易形成热应力而损坏元器件，所以冷却速率又不希望超过 4℃/s。因此，必须根据生产现场具体情况，灵活运用，折中处理。



1.4.3 再流焊接设备的基本要求

1. 温区

有铅再流焊接炉根据不同产能的需求应具有（2~8）个独立控制区，小批量生产状况，温区数可靠近低端取值，而要求大产能时则应靠近高端取值。

无铅再流焊接炉根据不同产能的需求应具有（8~12）个独立控制区，小批量生产状况，温区数可靠近低端取值，而要求大产能时则应靠近高端取值。

2. 炉内温度的波动量

再流焊接炉连续工作时，应具有快速加热被焊元器件表面的能力以确保炉温稳定，炉温波动应小于 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

3. 炉内温度的均匀性

现代封装技术的发展驱使再流焊接技术不断向微焊接技术逼近。因此，再流焊接炉温度不均匀性应小于或等于 2°C ，才能满足微焊点的焊接质量要求。

4. 安装场地要求

再流焊接炉安装时应避开再流焊接炉的出入口正对门窗或风源，以保证炉温稳定。

5. 炉子排气量的选择

再流焊接炉排风能力的选择，应在不影响正常的焊接工艺过程的前提下，还应充分考虑抵御外部恶劣气候环境的影响能力。

6. 防静电要求

再流炉应有完善的静电泄放能力，不会形成静电积累。

为防止设备运行时产生静电对元器件的损坏，设备的防静电接地不能和电网的地线混用。

1.5 表面贴装设备技术及其应用基础

1.5.1 表面贴装工程（SMA）的定义和特征

1. 表面贴装工程（SMA）的定义及特点

表面贴装工程（Surface Mount Assembly, SMA）是随表面贴装元件（SMC）和表面贴装器件（SMD）的诞生和大量应用，而发展起来的新一代的电子组装技术。它是目前电子制



造业界与有引脚元件（THC）和有引脚器件（THD）相并存的两大安装技术。

在通孔安装（THT）时代，电子线路的组装，是采用点对点的布线方法，而且根本没有基片。第一个半导体器件的封装是采用放射形的引脚，将其插入已用于电阻和电容器封装的单块 PCB 板的通孔中，如图 1.13 所示。

20 世纪 50 年代，表面安装元器件应用于高可靠的军用电子产品中；20 世纪 60 年代，混合技术被广泛应用；20 世纪 70 年代，受消费类电子产品的影响，无源表面贴装元件（SMC）被广泛使用；20 世纪 80 年代，有源表面贴装器件（SMD）也被广泛使用，驱使了表面安装技术（SMT）迅速发展起来。表面贴装元器件（SMC/SMD）的安装如图 1.14 所示。



图 1.13 通孔元器件（THC/THD）的安装

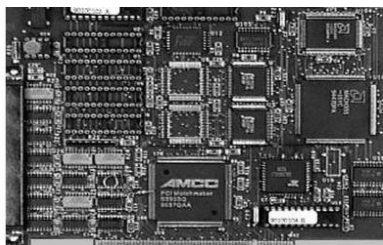


图 1.14 表面贴装元器件（SMC/SMD）的安装

2. SMA 的特点

与 THT 传统工艺相比，SMA 的特点是高密度、高可靠、低成本、小型化、生产的自动化。

1.5.2 贴装设备的定义及特征

1. 贴装设备的定义

按照设计和工艺要求将表面元器件（SMC/SMD）准确地贴装到 PCB 相应安装图形的表面的专用工艺设备，称为贴装设备。部分贴片机外形如图 1.15 和图 1.16 所示。

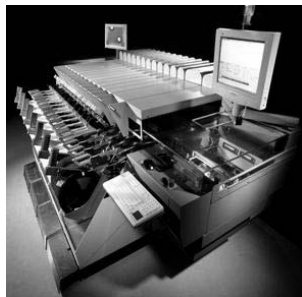


图 1.15 飞利浦 AX5



图 1.16 FUJI-NXT 模组高速多功能贴片机

2. 贴装设备的特征

从电子封装技术的发展来看，贴装设备应具备的基本特征如下所述。



(1) 技术能力强

贴装设备应具有贴装先进封装器件、电路基板以及适应各种电路互连技术的能力,可扩展升级功能强,如精度、元器件装载、贴装工艺等对新型封装元器件有很好的覆盖能力。例如,在贴装焊球直径为 0.125mm 的 CSP 时,贴装机精度达到 $45\mu\text{m} 4\sigma$, 才能达到可以接受的良品率。

工作过程中人为干涉要少,每台机器上要配有一定数量的送料器装载量,以减少送料器更换的装卸操作。

(2) 可操作性好、工作稳定可靠

元器件及 PCB 的微型化要求提升贴装设备的贴装精度和工艺基准识别的准确性,设备结构工作稳定可靠,可操作性好。例如:

- 自动周期性校准,减少维护工作量;
- 先进的多媒体用户界面;
- 自动误差恢复。

(3) 产出高

贴装设备产出高、产能稳定,最好具备并行贴装、模块化、可伸缩、可扩展及伺服控制贴装头等能力,无效时间短。

(4) 柔性好

在技术发展和竞争的影响下,当前电子产品市场呈现出与过去截然不同的运营模式。数字化技术使得产品生产越来越多样化,而且也变得越来越容易。与此同时,消费者对个性化产品的要求也越来越高,迫使制造商需要不断向市场推出新产品,这样的直接后果就是一种新产品在市场上停留的时间越来越短,而制造商再也不能像以前那样靠一个产品长时间独霸市场。

由于电子产品市场生命周期缩短,制造商们常常不得不面对小批量多品种生产模式,同时随着产品向小型化方向发展,元器件供应商们也在不断开发新的封装方式。因此,电子制造商必须更多考虑如何优化调配设备以及各种工程资源,以实现高效率的生产。

柔性好体现在设备对生产要求的变化响应能力强,如转换时间、批量适应能力、送料器适应能力及 PCB 规格更改的适用能力等。在 SMC/SMD 贴装过程中所谓柔性最主要指的是两个方面,即贴装类型和贴装批量变化的适应能力。当生产品种转换,贴装类型的柔性化可通过贴装设备最低的调整度来体现,例如:

- 具有软件控制 PCB 宽度调节,柔性支撑及 PCB 边沿夹持专用定位固定装置;
- 柔性的 PCB 传送系统,以加快 PCB 转换时间;
- 使用在线控制系统的软件,控制生产品种的转换;
- 通过增加送料器的装载位置或相应的送料车加速送料器的更换时间;
- 吸嘴飞行更换,更换时间降到最低,减少时间损失。



(5) 价格适宜, 使用成本低

使用成本低主要体现在下述几个方面: 增加产出、减少无效时间、减少不良品率、减少操作成本和维护成本。

1.5.3 贴装设备技术概述

1. 现代贴装设备的发展

(1) 平行贴装新概念

新一代 SMD 贴装平台实现贴装头的全智能化、柔性化、高产量与长使用寿命, 可以确保贴装在制造中达到最低的成本。理想的贴装平台结构的优势是建筑在能够为大批量、高复杂性电路组装提供高柔性化与可扩展性。该平台的核心是在可扩展、多功能贴装模块, 每个贴装头实现了智能化。这种分布式机器智能化在许多平行贴装技术中起到了极其重要的作用。

(2) 激光对准技术的新体系

激光对准在平行贴装技术的开发中起到重要的作用, 在飞行过程完成器件对准, 支持了整个系统的快速贴装性能。在单一平台上适应贴装各种规格器件的宽广范围, 驱动了第二代激光对准技术“自置传感系统”的实现。这种耐用贴装头的轻型机构, 在运行中很少产生热量, 对贴装精度影响极小, 高的抗电磁干扰水平, 转动速度柔性控制。软件新算法可扩展对各种器件封装形状(包括用户自定义封装)的复制。使用这种新型激光对准的器件尺寸, 对多功能贴片机电动机可达 $52\text{mm} \times 52\text{mm}$ 。更宽广的封装形状与改进的精确度, 使得在这个平台上可完成各种精细间距多引脚数 IC 器件的贴装, 改进了 SMT 整线的平衡生产。

(3) PCB 板对准技术的改进

如今的平行 SMD 贴装系统, 在设备运行中都使用摄像装置来对准、识读 PCB 基准标志。当被搜索的 PCB 板通过设备传送时, 事实上就引入了不精确的因素, 为保证按技术标准规定的精度贴装每一个元器件, PCB 板通过定位孔重新定位的要求是相当严格的。现在贴装头均具备 PCB 板对准的能力, 以实现 PCB 板边沿夹持装置在整个贴装系统的任意一个位置进行转换。

新型贴装头机械结构具有极高的一致性, 可在少于 2s 的时间内完成更换, 以致更换新的贴装头可不需要重新校准, SMT 生产线也不至于停机。

(4) Z 轴贴装力的控制

贴装系统每个模块的智能化与快速通信能力的优越性是提供重新获得 Z 轴贴装力控制的机会。由此, Z 轴运动的气动调节装置, 可通过伺服线性电动机变换该系统能对 Z 轴高度、贴装力与接触力进行精密控制。可防止应力造成元器件的微裂缝, 确保每个元器件的贴装力和高度, 达到快速贴装和更高的产能。



(5) 无缺陷贴装

平行贴装系统的每一个贴装头有自己的器件对准系统与控制装置。每个贴装头都可完成真空吸嘴编辑,操作者可以在不停机的状态下,进行真空吸嘴定位与质量检查和问题诊断。

平行贴装系统可建立数据报告,如生产日期、用户传动轴的运动与转动、为维护提供依据等。区域智能化也能提供对每个真空吸嘴气动控制系统的监测,在搜索后,检查卷带的位置,保证小型元器件被吸持在真空吸嘴下面的正确位置,可靠吸持。真空吸嘴装置的过滤器可防止系统的污染。

(6) 单一贴装平台

理想的贴装平台可装载几乎所有的 IC 封装器件与异形器件。在系统的用户界面,操作、送料器、应用程序及维护均是通用的。使得新的贴装平台成为单一的机器,可适应所有封装器件及各种批量复杂的 PCB 板组装生产。

(7) SMD 贴装工艺

SMD 贴装过程包括 PCB 送入→器件吸持→移动器件对准(CA)→识别→移动器件到 PCB 上方→基准对准系统检查识读 PCB 基准标志→贴装器件→贴装头返还送料区→PCB 送出。在这 9 个工序中,唯一有效的是贴装器件,其他工序仅仅是辅助,尽可能并行完成。例如,一组批吸持器件 CA 可与贴装头并行移动(飞行对中,飞行定向),吸持与贴装并行(双道贴装)就提高了贴装速度,减少了贴装时间。

为满足这个要求,许多制造商使用一个“群体顾客化(Mass Customerization)”战略。将特殊的产品对准不同的顾客。为了达到群体顾客化,制造商在同一个或不同的时间段内使用同一条生产线生产数十种或更多种不同的产品。这个生产方式的变化确保了对制造效率最大化的需求。

2. 常用的贴装设备分类

(1) 按贴装机的结构特点分类

① 转塔型(Turret)。

元器件送料器放于一个单坐标移动的料车上,PCB 放于一个沿 X/Y 坐标系统移动的工作台上,贴装头安装在一个转塔上。工作时,料车将元器件送料器移动到取料位置,贴装头上的真空吸料嘴在取料位置取下元器件,经转塔转动到贴装位置(与取料位置成 180°),在转动过程中经过对元器件位置与方向的调整,再将元器件贴放于 PCB 上。

② 拱架型(Gantry)。

此类机型的元器件送料器、PCB 基板是固定的,贴装头(安装多个真空吸料嘴)在送料器与 PCB 基板之间来回移动,将元器件从送料器取出,经过对元器件位置与方向的调整,然后贴放于 PCB 基板上。由于贴装头是安装于拱架型的沿 X/Y 坐标移动的横梁上,所以得名。

③ 平行贴装结构。



平行贴装结构这一贴装系统以多个贴装头为基础，每个贴装头都由精细的进料器送料。贴装头平行运作，同时执行拾取、元器件排列和贴装任务。

(2) 按贴装速度分类

- ① 高速贴装机：贴装速度一般在 36 000 片 / h 以上。
- ② 中速贴装机：贴装速度在 36 000 片 / h 以下。
- ③ 多功能贴装机：
 - 贴装速度一般小于 10 000 片 / h；
 - 贴装范围广，柔性大；
 - 几乎所有类型的机型都有多功能系列。

1.6 焊膏印刷设备技术及其应用

1.6.1 焊膏印刷及焊膏印刷机的定义

1. 焊膏印刷

通过自动化设备按预定程序将一定量的焊膏涂敷到 PCB 相应焊盘上的工艺方法。

2. 焊膏印刷机

焊膏印刷机又称 SMT 印刷机。焊膏印刷机是专门用来进行焊膏印刷的自动化程度较高的印刷器械。焊膏印刷工艺的目的是使焊膏通过模板与焊膏印刷设备的共同作用，准确地将焊膏印刷到 PCB 板上。印刷涉及的工艺元素主要有模板、焊膏及焊膏印刷机。部分印刷机外观如图 1.17 和图 1.18 所示。



图 1.17 DEK 266.Horizo 外观



图 1.18 MPM AP-HIE 外观

1.6.2 焊膏印刷机的构成

焊膏印刷机系统组成主要包括机械、电气两大部分。



1. 机械部分

由运输系统、网板夹持装置、PCB 夹板装置、视觉系统、刮刀系统、自动网板清洗装置、可调工作平台等组成。

(1) 运输系统

① 组成：包括运输导轨、运输带轮及皮带、步进电机、驱动器、停板装置、导轨调宽装置等。

② 功能：对 PCB 进板、出板的运输、停板位置及导轨宽度进行自动调节以适应不同尺寸的 PCB 基板。

(2) 网板夹持装置

① 组成：由气缸、导轨、滑块及加工件等组成，钢网支座可左右移动，以适用于不同大小的钢网。

② 功能：夹持网板的宽度可调，并可对钢网位置固定、夹紧。

(3) PCB 夹板装置

① 组成：真空腔组件、磁性顶针、柔性的夹板装置、Z 向压片组件等。

② 功能：柔性夹持处理装置可定位夹持各种尺寸和厚度的 PCB 基板，带有可移动的磁性顶针和真空吸附装置，能有效地控制 PCB 变形而造成的印刷不良。

(4) 视觉系统

① 组成：包括 CCD 运动部分和 CCD—Camera 装置（摄像头、光源）及高分辨率显示器等，由视觉系统软件进行控制。

② 功能：采用先进的图像视觉识别系统，LED1、LED2、LED3 亮度独立控制与调节，采用高精度的相机，精确地进行 PCB 与钢网模板对准，确保印刷精度为 $\pm 0.02\text{mm}$ 以上。

(5) 刮刀系统

① 组成：包括印刷头（刮刀升降行程调节装置、刮刀片安装部分）、刮刀横梁及刮刀驱动部分（步进马达）、刮刀等组成。

② 功能：悬浮式印刷头，丝杆与电动机采用直联式设计，使刮压力精度更高，下焊膏更均匀，具有特殊设计的高钢性结构使印刷更稳定，刮刀压力、印刷速度、脱模长度、速度等均由 PC 控制，使得调节更方便。

(6) 自动网板清洗装置

① 组成：包括真空管、真空泵、清洗液储存和喷洒装置、卷纸装置、升降气缸等。网板清洗装置被安装在视觉系统后面，通过视觉系统决定清洗行程，自动清洗网板底面。

进行清洗时，清洗卷纸上升并且贴着模板底面移动，用过的清洗纸被不断地绕到另一滚



筒上。清洗间隔时间可自由选择,清洗行程可根据印刷行程自行设定。进行湿洗时,当储存罐中清洗液不够时,系统出现报警显示,此时应将其充满清洗液。干、湿、真空洗周期可自由调节。

② 功能:可编程控制的全自动网板清洁装置,具有干式、湿式、真空三种方式组合的清洗方式,彻底清除网板孔中的残留焊膏,以保证印刷质量。

(7) 可调印刷工作台

① 组成:包括 Z 轴升降装置(升降底座、升降丝杠、伺服电机、升降导轨、阻尼减震器等)、平台移动装置(丝杆、导轨及分别控制 X、Y、 θ 方向移动的伺服电机等)、印刷工作台面(磁性顶针、真空腔)等。

② 功能:通过机器视觉,工作台自动调节 X、Y 及 θ 方向位置偏差,精确实现印刷模板与 PCB 板对准。

2. 电气部分

电气部分由工控机及控制软件、驱动器、步进电机、伺服电机和气动系统以及信号监测等系统组成。

操作系统控制:一般采用 Windows 操作系统,智能化的先进软件控制,极大地方便了用户的使用。

① 工作原理。由高精度的图像视觉系统精确识别并计算出 PCB Mark 与钢网 Mark 间的偏差值,由 PC 控制工作台完成校准。在印刷焊膏时,焊膏受刮刀的推力产生滚动前进,所受到的推力可分解为水平方向的分力和垂直方向的分力。当运行至模板窗口附近时,垂直方向的分力使黏度已降低的焊膏顺利地通过窗口印刷到 PCB 焊盘上,当平台下降后便留下精确的焊膏图形。

② 功能特性。

- 采用先进的图像视觉识别系统,独立控制与调节的照明,高速移动的镜头,精确地进行 PCB 与模板对准,确保印刷精度为 $\pm 0.026\text{mm}$ 。
- 高精度伺服电机驱动及 PC 控制,确保印刷精度和稳定性,精确的图像识别技术具有 $\pm 0.008\text{mm}$ 重复定位精度。
- 悬浮式印刷头,特殊设计的采用高精度的步进电机直连式驱动刮刀升降,压力、速度、行程均由 PC 内运动控制卡精确控制,使印刷质量更均匀稳定。
- 可选择人工/自动网板底面清洁功能。自动、无辅助的网板底面清洁功能,可编程控制干式、湿式或真空清洗,清洗间隔时间可自由选择,能彻底清除网孔中的残留焊膏,保证印刷质量。
- 组合式工作台,可根据 PCB 基板大小设定安置顶针和真空吸筒,使装夹更加快速、容易。
- 多功能的板处理装置,可自动定位夹持各种尺寸和厚度的 PCB 板,带有可移动的磁性顶针和真空平台及真空盒,有效地克服板的变形,确保焊膏印刷均匀。
- 具有“Windows XP 窗口”操作接口和丰富的软件功能,具有良好的人机对话环境,操作简单、方便。



- 具有对故障自诊断声、光报警和提示故障原因功能。
- 无论单/双面 PCB 基板均可作业。
- 可完美印刷 0.3mm 间距以及 0201 的焊盘。
- 闭环压力控制系统。
- 橡胶刮刀。
- 真空盒（印刷 0.4~0.6mm 厚薄板时选用）。
- Z 向压片自由切换（DSP-1008）。
- 2D 检测系统。
- SPC 系统。

1.6.3 焊膏印刷设备的分类

SMT 焊膏印刷机有全自动焊膏印刷机与半自动焊膏印刷机之分。

1. 全自动焊膏印刷机

全自动焊膏印刷机是为了适应高密度电子封装技术的发展趋势，QFP、SOP、BGA、CSP、01005 等细间距的焊膏印刷工艺。全自动焊膏印刷机在自动化 SMT 生产线上的配制，如图 1.19 所示。



图 1.19 SMT 生产线

2. 半自动焊膏印刷机

半自动焊膏印刷机常用在所生产产品相对较简单，产能也不很大的单位。

印刷系统主要是指印刷设备和印刷参数。印刷设备的质量对印刷准确度影响非常大，印刷设备的重复印刷精度与印刷参数设置的合理匹配，是准确印刷的基础。印刷参数较多，但对印刷效果影响最大的关键参数有刮刀压力、脱模速度、印刷速度和脱模距离等，需要设置好这些关键参数并使其相互匹配，以提高印刷质量。

1.7 自动光学检测设备AOI及其应用

1.7.1 在SMA生产中导入AOI的作用和意义

(1) AOI 的定义

自动光学检测设备（Automated Optical Inspection, AOI），是通过光学的方法对 PCB 板



进行扫描；通过 CCD 摄像机读取器件及焊脚的图像；通过逻辑算法或影像对比的方法对 PCBA 上的元器件及焊点进行检测，从而发现是否有漏装、短路、空焊、贴翻、器件位置不正、极性错误、焊料多、焊料少等缺陷的 PCB 板。

（2）在 SMA 生产中导入 AOI 的意义

在激烈的市场竞争中，电子产品制造厂商必须确保产品的质量。为了保证产品的质量，对产品制造工艺过程中的各工序（特别是重点工序）实施在线质量监控显得尤为重要。随着表面组装技术（SMT）中使用的 PCB 线路图形的精细化、SMC/SMD 元器件的微型化、SMA 组装的高密度化及快速化的发展趋势。采用目检或人工光学检测的方式已不能适应，因此采用自动光学检测（AOI）技术作为质量检测的技术手段已是大势所趋。

由于人工检验的主观性，导致其检验结果往往会存在一些局限性。从而在现代电子产品生产中导入 AOI 设备，其意义首先在于克服了人工目检的局限性。特别是对于高密度复杂的表面贴装 PCB 板，再依赖人工目检既不可靠，也不经济，在面对快速发展的新一代微细化的元器件，如 0201、01005、EMI 等已成为不可能的事情。

1.7.2 自动光学检测设备（AOI）的优点

1. 综述

随着现代电子产品的轻、薄、短、小化的发展势头，自动光学检测设备（AOI）正被越来越多地用来监视和保证 PCBA 的组装质量。再加上目前用于 PCBA 组装质量检测的自动光学检测设备（AOI）检测技术上的进步，诸如先进光学镜片的采用、创新光路（放大倍数更大）的设计方案、更先进、复杂的算法等新技术的综合应用，从而 AOI 已能实现在较高生产产能的情况下获得较高的缺陷捕获率。

2. AOI 检测设备具有的优点

① AOI 是作为工艺过程控制的主要检测设备，对于完善的单板测试检查平台具有重要的意义，AOI 为追求 6SIGMA 品质提供了有力、可靠的保障。

② AOI 设备解决了 0402,0201 类，Fine pitch 等微封装器件的结构性检查的问题。

- 取代人工目检，避免人工目检的偶然性、随机性、重复性差等问题；特别是解决了人工目检不能定量分析贴放的偏差及焊点的质量。
- 解决了人工目检不能定量分析焊膏印刷的偏差及焊膏面积、体积的质量，解决了人工目检不能对 SMT 提出可靠的修正性分析建议的问题。
- 通过自动光学检测设备 SPC 的数据反馈统计功能，制程工程师可以及时地优化工艺参数，提高生产质量。

③ AOI 测试设备是通用的测试检查平台，它可以适合于多种工艺类型单板的测试及检查。AOI 检测提高了后端测试的直通率，降低了维修成本。

④ AOI 作为工艺性检测的测量手段之一，为提高焊点的可靠性研究提供了有力的保障。

⑤ AOI 设备具有较强的适应能力。



- 能根据 SMT 线体的质量控制要求放置于不同的位置，具备灵活的检测策略。
- AOI 设备具备适应 PCB 组装密度进一步提高的要求，随着电子产品组装密度的大幅提高，传统的一些测试技术面临着挑战，但是 AOI 则在未来相当长的时间内不会受这些因素的影响。

⑥ AOI 被用于作为工艺控制的目的，可以及早发现工艺恶化的趋势，如焊膏及贴装位移，不正确的料盘安装（OCR/OCV）等。

⑦ AOI 被用于完成检测的目的，可以充分利用再流焊后的 AOI 检测项目较全的特点，全面地对单板工艺性缺陷进行检测，并且产生较为完整的检测信息，提高产品的交付质量。

⑧ 测试程序的生成十分迅速。AOI 设备的测试程序可直接由 CAD 资料生成，十分快捷。与在线测试相比，由于无须制作专门的夹具，测试成本也大幅降低。

⑨ AOI 设备的检测速度较快，可以置于流水线上，可以满足 SMT 生产线的生产节拍。目前许多工厂在生产过程中对 PCB 组件的检验主要靠人工目检，随着 PCB 尺寸的加大和组件数的增多，这种检测方式已经不堪重负。而 AOI 测试目前能做到 0.1s/幅的速度，满足在线检测的要求。

1.7.3 自动光学检测设备（AOI）的结构组成

AOI 的结构组成可划分为以下几部分：图像采集系统、光源系统、机械运动系统以及用于图像处理的软件系统。

1. 图像采集系统

自动光学检测系统的图像采集都是采用数字照相机。图像采集系统犹如人的眼睛，直接决定了所采集图像的质量和检测的速度。

2. 光源系统

光源系统提供成像所需的光源，通过可调节的光强、色彩、入射角度等不同组合的光源，与数字相机配合，完成整个成像功能。

3. 机械运动系统

AOI 系统中的机械运动系统是实现检测过程准确定位、稳定测量的前提，具有精确度高，重复性好的特点。

AOI 的机械运动系统分为 3 种类型：第 1 种是光源及摄像系统运动，单板不动；第 2 种是单板运动，光源及摄像系统不动；第 3 种是单板、光源及摄像都动。这 3 种方式在炉后的 AOI 中都有运用，但是炉前的 AOI 多采用单板不动而光源及摄像系统运动的方式。运动部件多采用丝杠和线性导轨两种，线性导轨的精度较高，但是不论哪种形式，为了保证位置精度及重复性，AOI 都采用的是伺服控制系统结构形式。例如，VT-WINII 采用的是丝杠轴承的 PLC 伺服控制系统，重复精度可达 0.2 μ m。



4. 图像处理的软件系统

在 AOI 系统中, 图像处理软件如同人的大脑, 对采集到的图像数据进行分析、处理和判定。AOI 检测设备的综合性能, 如故障现象的检测能力, 系统的灵活性, 是否具备准确的测量功能, 检测结果是否可经过进一步的统计、分析而用于工艺监控等, 都与所采用的图像处理技术有着密不可分的关系。

1.7.4 自动光学检测设备的分类

1. 根据配置场合的不同, AOI 可分为离线式 AOI 和在线式 AOI 两种

具体选用在线还是离线, 必须根据自身的实际情况去权衡: 如果是小批量、多品种, 转线频繁的生产模式, 宜选用离线式 AOI, 易于搬动, 可灵活应对任何工序的检查需要; 而在线式往往固定于某一工序位置上, 最适合于大型企业, 产品生产批量很大的场合, 这样免去了程序调试的时间, 提高了设备的使用率和稳定性。

2. 根据应用目的不同, AOI 又可分为缺陷检测及缺陷预防两种类型

AOI 使用目的不同, 其生产线上配置的位置也不同。同样的 AOI 在 SMT 生产线上的配置位置不同, 其获取的控制信息也是不同的。一般情况下 AOI 可以有效地配置到生产线的下述 3 个位置上, 如图 1.20 所示。

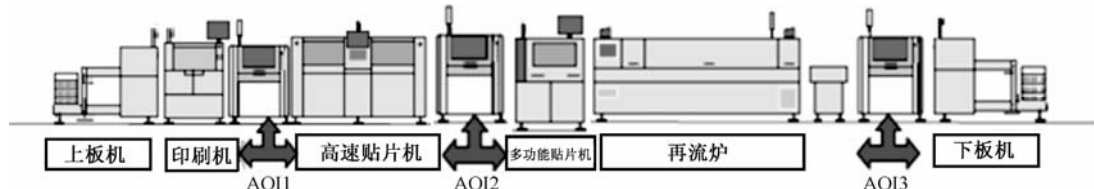


图 1.20 一条标准的 SMT 自动生产线 AOI 在线体中的最佳配置

(1) 焊膏印刷之后

主要用来检测焊膏印刷过程中的缺陷。通常焊接缺陷的 70% 源于锡膏印刷的缺陷。大多数具备 2D (3D) 的检测系统, 便能监控焊膏印刷中所出现的各种印刷缺陷。用来检测焊膏印刷的 AOI 也称 SPI (Solder Paste Inspection), 如图 1.20 所示的 AOI1。

(2) 高速贴片机之后和多功能贴片机之前

主要用来检测单板生产过程中的贴片问题, 可以有效地防止元器件的缺失、极性、移位、立碑、反面等。也可检测焊膏印刷的偏移, 桥连等。由于它位于再流焊之前, 故也称为炉前 AOI, 如图 1.20 所示的 AOI2。

(3) 再流焊接之后

由于它位于生产线的末端, 检测系统可以检查元器件的缺失, 偏移、歪斜、焊料量的多



或少、短路、翘脚及极性等方面的所有缺陷。由于它位于再流焊之后，故也称为炉后 AOI，如图 1.20 所示的 AOI3，主要用来检测 PCBA 焊接以后的所存在的各焊点缺陷。

在应中，前两种 AOI（即 AOI1、AOI2）属于缺陷预防类性的，而炉后 AOI 属于缺陷检测性的。

1.7.5 AOI应用策略和技巧

1. 焊膏检测 AOI

（1）焊膏检测 AOI 的作用

① 焊膏印刷缺陷的检测。焊膏检测 AOI 是基于 SMT 组装缺陷的 60%~70%来源于焊膏印刷工序。在焊膏印刷阶段通过 AOI 的监控作用和焊膏印刷质量的检测，可以很容易、很经济地预防再流焊接缺陷现象的发生。焊膏检测 AOI 系统分为 2D 及 3D 两种类型。

- 2D 检测系统可以检测焊膏印刷在 X-Y 平面方向所发生的焊膏印刷图形的移位、完整性、桥连等。
- 3D 的检测系统除具有 2D 系统的检测功能外，还具有对焊膏高度、面积、体积的准确测量功能。

② 焊膏印刷缺陷的预防。焊膏检测 AOI 除用于焊膏质量检测外，另一个重要的作用是焊膏印刷缺陷的预防。它借助 SPC 的过程控制能够监控焊膏的偏移、歪斜、不足等的焊膏区域以及溅锡、桥连等。3D 系统还可以测量焊膏的印刷量。

（2）焊膏检测 AOI 的检测项目

- 2D 焊膏检测 AOI 可以检测焊膏的 X-Y 方向偏移、焊盘露铜、无焊膏、焊膏覆盖不完整、焊膏桥连等缺陷。
- 3D 焊膏检测 AOI 除了具有二维焊膏检测 AOI 的检测项目外，还具有检测焊膏厚度、面积及体积的功能，特别是对焊膏拉尖，厚度不均匀的检测能力较强，如图 1.21 至图 1.23 所示。

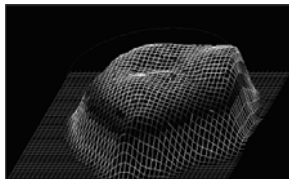


图 1.21 焊膏 3 维模拟图



图 1.22 3D 焊膏水平切面图

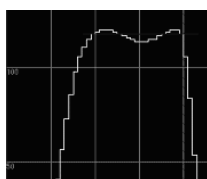


图 1.23 3D 焊膏垂直切面图

（3）焊膏 AOI 缺陷检测图像识别

- ① 焊膏量不足，覆盖不完整。焊膏量的不足、覆盖不完整的图像表现，如图 1.24 所示。
- ② 焊盘周边出现焊膏渗漏及焊膏拉尖。焊膏印刷过程中焊盘周边出现焊膏渗漏及拉尖的图像表现，如图 1.25 所示。
- ③ 焊膏塌边、桥连。焊膏塌边、桥连的图像表现，如图 1.26 所示。



④ 焊膏偏出焊盘。印刷中焊膏偏出焊盘的图像表现，如图 1.27 所示。

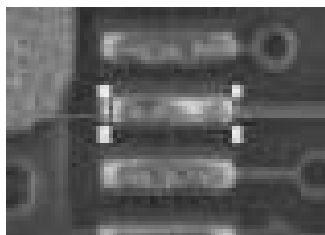


图 1.24 焊膏量少及覆盖不完整

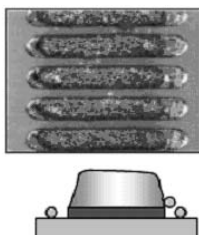


图 1.25 焊膏渗漏

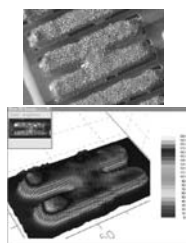


图 1.26 焊膏塌边、桥连

⑤ 边界呈凹状。边界呈凹状的图像表现，如图 1.28 所示。根据焊膏流变学原理，出现此种现象的原因是钢网在脱离 PCB 板时出现的问题。

● 厚薄不均匀，超出偏差值。厚薄不均匀，超出偏差值的图像表现，如图 1.29 所示。

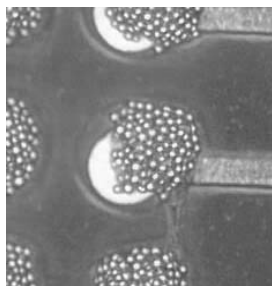


图 1.27 焊膏偏出焊盘

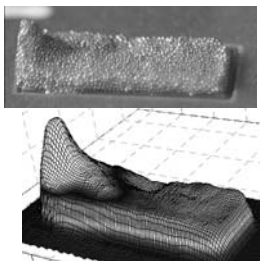


图 1.28 边界呈凹状

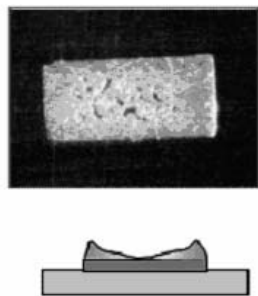


图 1.29 厚薄不均匀

2. 炉前 AOI

(1) 炉前 AOI 的作用

再流焊之前的 AOI 一般置于高速贴片机之后，多功能机之前。

可检测 CHIP 器件的位置偏移、缺件、移位等缺陷；还可以检测 BGA、CSP 等面阵列器件的焊膏印刷质量；同时还可以统计、分析高速贴片机的贴放精度。

(2) 炉前 AOI 的检测项目

- 器件级的检测项目：缺件、错件、移位、旋转、反向、侧立、立碑、反白、器件破损等。
- 焊膏的检测项目：焊膏不足、桥连、偏移等。

(3) 炉前 AOI 缺陷检测图像识别

- 缺件：缺件的图像表现，如图 1.30 所示。
- 偏移：偏移的图像表现，如图 1.31 所示。
- 反白：反白的图像特征，如图 1.32 所示。

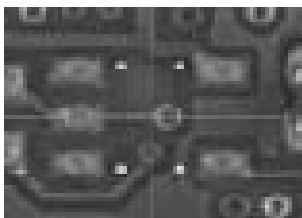


图 1.30 缺件

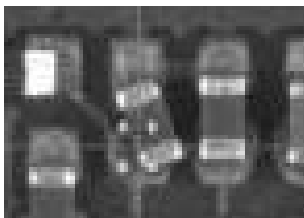


图 1.31 偏移

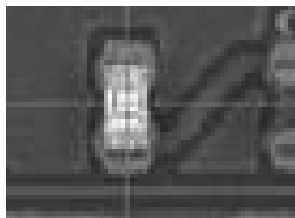


图 1.32 反白

- 立碑 / 侧立：立碑/侧立的图像特征，如图 1.33 所示。
- 错件：错件的图像表现，如图 1.34 所示。
- 极性反向：极性反向的图像特征，如图 1.35 所示。

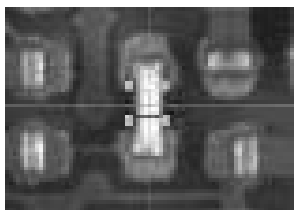


图 1.33 侧立



图 1.34 错件

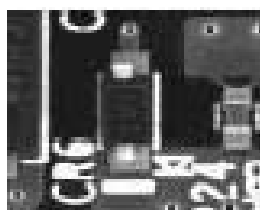


图 1.35 反向

- 字符识别：字符识别的图像表现，如图 1.36 所示。

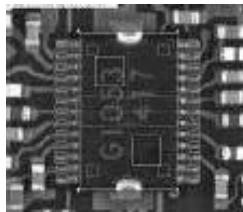
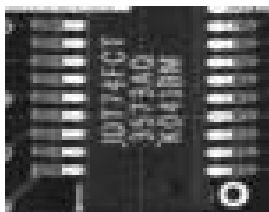


图 1.36 字符识别的图像表现

3. 炉后 AOI

(1) 炉后 AOI 的作用

再流焊接后的 AOI 位于生产线的末端，检测系统可以检查元器件的缺失、偏移和歪斜等情况，以及所有极性方面的缺陷。该系统还对焊点的正确性以及焊料不足、短路和翘脚等缺陷进行检测。

炉后 AOI 其主要目的是发现缺陷。由于其检测项目全面，作为检测手段之一，对提高单板的交付质量，为后端测试直通率的提高具有重要意义。

(2) 炉后 AOI 的检测项目

- 器件级的检测项目：缺件、错件、移位、旋转、反向、侧立、立碑、反白、器件破损等。
- 焊点级的检测项目：焊料过多、焊料不足、桥连、空焊、焊料珠等。



(3) 炉后 AOI 缺陷图像识别

- 焊料球：焊料球的图像表现，如图 1.37 所示。

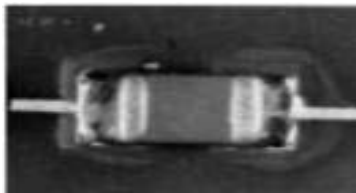


图 1.37 焊料球的图像表现

- 立碑：立碑现象的图像表现，如图 1.38 所示。
- 缺件：缺件的图像表现，如图 1.39 所示。
- 反白：反白的图像特征，如图 1.40 所示。

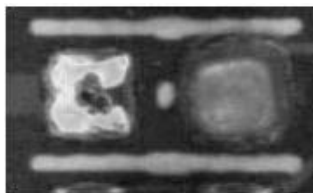


图 1.38 立碑

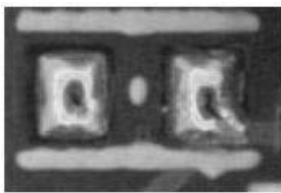


图 1.39 缺件

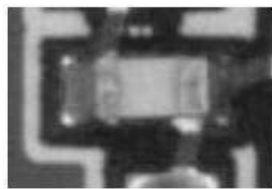


图 1.40 反白

- 移位：移位的图像表现，如图 1.41 所示。
- 焊料过多：焊料过多的图像表现，如图 1.42 所示。
- 桥连：桥连的图像表现，如图 1.43 所示。



图 1.41 移位

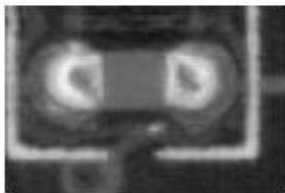


图 1.42 焊料过多

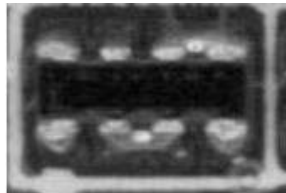


图 1.43 桥连

- 金手指多余焊料点：金手指多余焊料点的图像表现，如图 1.44 所示。
- 少锡：少锡的图像表现，如图 1.45 所示。



图 1.44 多余焊料点

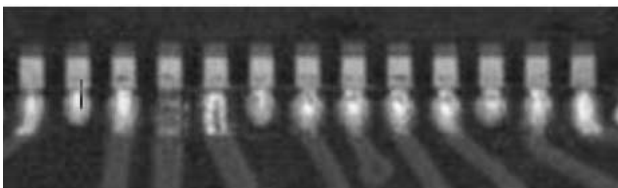


图 1.45 少锡



1.8 X-Ray检测设备及其应用

1.8.1 什么是X-Ray检测仪

X-Ray 检测仪是在不损坏被检物品的前提下,使用低能量 X 光,快速检测出被检物品的内部质量和异物,并通过计算机显示被检物品图像的测试手段。例如,在电子组装工艺中一般用于检测一些肉眼所看不到的物品内部的缺陷,如检测多层 PCB 内部电路有无短路、开路等。在 X 射线发生器对面有个数据接收器,自动将接收到的辐射转换成电信号并传到扩张板中,并在计算机中转换成特定的信号,通过专用的软件将图像在显示器中显示出来,这样就可以通过肉眼观测到基板的内部结构。

在电子产品生产中,通过调整 X 射线的电压和电流参数,就可以得到合适的灰度显示比,从而得到清晰的焊点信息。此焊点影像信息,再通过成像器下部的摄像头,将成像器上的实时光学影像摄取,并经过计算机图形处理,从而实现对 PCBA 焊点的高分辨率的检测。

在有铅 BGA、 μ BGA (CSP) 焊点中,随着焊点中含铅(原子序数为 82)的多少呈现不同灰度的像素,铅成分较多的区域呈现较黑的像素,从而在成像器上显示出灰度较大的放大的焊点影像。

在无铅 BGA、 μ BGA (CSP) 焊点中,铅被排除,主要是增加锡量以取代铅。而锡、银、铜的原子序分别为 50、47、29,密度均较低,更多的 X 射线穿透被检测焊点直接进入检测器,检测时若采用与有铅焊点检测相同的 X 射线管参数时,就会导致影像曝光过度。

1.8.2 X-Ray的使用

在电子产品组装工艺中,当出现下述情况下时,一般就应采用 X-Ray 的方法进行检测。

- 当肉眼看不到的“隐藏的”焊点比例较大时。
- 当大量的焊点是不能测试的冗余连接的焊点时。
- 当 PCB 上在同一位置的正、反面均装有 BGA,且其扇出的导通孔是接触不到的,或者是其间距容不下其他的测试点时。

X-Ray 检测方法可实施所选择的测试工艺,并能够为生产线提供快速反馈。

根据使用的 X-Ray 系统的能力,X-Ray 能够探测到多数与焊接相关的缺陷,如桥接、开路、焊料不足和焊料过多等。其他类型的缺陷有漏贴焊料球、错位和封装产生“爆米花”现象,这些缺陷都是可以识别的。

X-Ray 除了能够探测缺陷外,还具有分析趋向的能力,例如,可提供有关焊料量和焊点形状的信息。在查找 BGA 焊点的空洞方面,X 射线是唯一一种没有破坏性的方法。



1.8.3 BGA、 μ BGA (CSP) 焊点的X-Ray检测案例

1. 再流焊接工艺过程控制正常时的图像特征

再流焊接工艺过程控制温度适当时,按 IPC-A-610 规定,可用 X 射线作为 BGA、 μ BGA (CSP) 焊点检验工具。再流焊接工艺过程控制正常时的图像特征如下。

- ① BGA、 μ BGA (CSP) 焊点光滑圆润,有明显边界、无空缺,直径、体积、灰度和对比度相同,如图 1.46 所示。
- ② 无偏移或偏转、无焊料球缺失等现象。

2. 失效定位——开路

μ BGA: 高放大倍率下双精度斜面观察开路的焊接点,如图 1.47 所示。

3. 失效定位——桥连

自动标识的 PBGA 的桥连焊点,如图 1.48 所示。

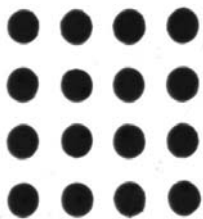


图 1.46 合格焊点

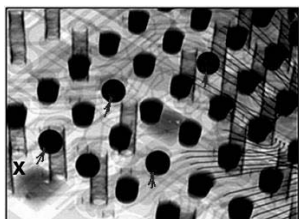


图 1.47 开路的焊接点

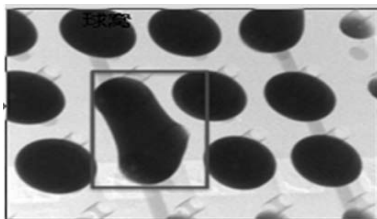


图 1.48 桥连的焊接点

4. 失效定位——润湿不良

润湿不良的 X-Ray 的图像,如图 1.49 所示。图 1.50 和图 1.51 所示分别显示了黏附 BGA 时漏植钎料球和钎料球中的空洞

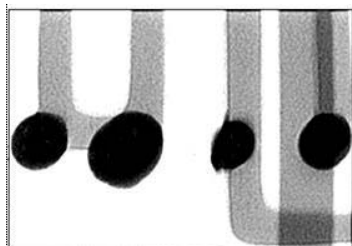


图 1.49 润湿不良

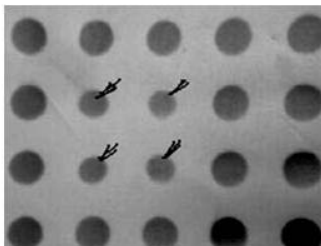


图 1.50 漏植钎料球

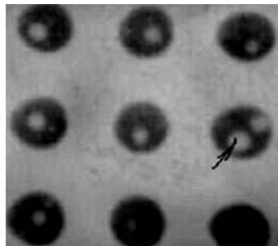


图 1.51 空洞



1.9 BGA等面阵列器件返修工作台

1.9.1 BGA及BGA返修工作台

1. BGA 及其特点

(1) 什么是 BGA

BGA 是一种封装方式，它的全称是 Ball Grid Array（球栅阵列结构），是集成电路采用有机板的一种封装法。在应用中，习惯上把采用 BGA 方式封装的器件简称为 BGA。其平面结构形态，如图 1.52 和图 1.53 所示。

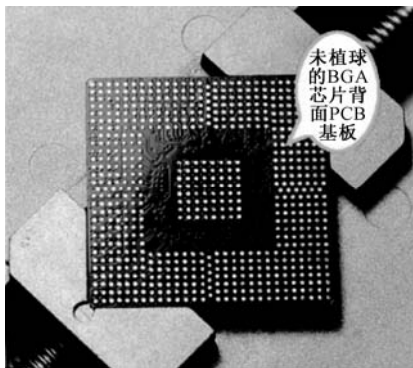


图 1.52 BGA 芯片未植球的背面图

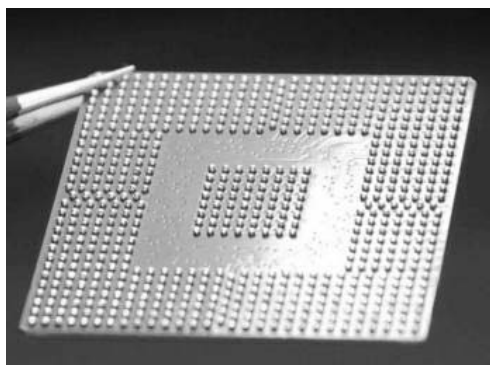


图 1.53 植球加热完成后的芯片

2. BGA 封装的特点

采用 BGA 封装的特点如下。

- 封装面积减少。
- 功能加大，引脚数目增多。
- 再流焊接时具有位置自校正功能。
- 可靠性高。
- 电性能好，整体成本低等特点。

3. 一般 BGA 返修台大体结构组成

一般 BGA 返修台大体结构组成如下：底座 + 加热器（上、下两部分）+ PCB 固定机构 + 对位装置 + 器件拾取装置 + PC 显示等。其外观如图 1.54 所示。



图 1.54 BGA 返修台的外观

4. BGA 返修台种类及优缺点

（1）BGA 返修台分类

按加热方式的不同分类。

- 红外返修台：上下全红外（如德国 ERSA 公司的产品）。
- 热风返修台：上下全热风（如日本 OKI 公司的产品）；上热风，下红外（如德国马丁公司的产品）。

（2）热风的优缺点

- ① 优点：对周围元件影响较小（PCB 设计合理时），降温过程可控。
- ② 缺点：可返修元件种类较少，后续使用需不断购买治具（成本高），加热器需定期校准，元件温差较大（做无铅时工艺参数不好设定）。

（3）红外的优缺点

- ① 优点：可返修元器件范围广（通孔元器件，连接器等），后续使用成本低（不需要加热罩等治具），加热器基本不需要校准。
- ② 缺点：红外加热对元器件表面颜色较敏感，且对周围元件有温度影响，不能实现氮气保护下返修，降温过程工艺不好控制。

5. BGA 返修台工作过程

BGA 返修台工作过程如下。

（1）拆除

设定返修台加热温度，将 PCBA 上待修 BGA 移至返修台加热位置，温度达到焊料熔点后利用真空吸嘴取下 BGA。



(2) 植球

用电烙铁将 BGA 上焊料渣处理干净, 均匀涂上一层助焊剂, 然后装入对应的网板治具, 将焊料球倒入网板, 保证 BGA 上每个焊点上都有焊料球。最后将粘有焊料球的 BGA 再次移至返修台加热位置加热, 待焊料球熔化与 BGA 焊点完全连接, 凝固后即可。

(3) 贴装

将 PCB 上焊点清理干净并涂敷一层助焊剂, 使用返修台对位系统将 PCB 焊点和 BGA 焊球对准, 操作返修台贴装 BGA, 将贴装好 BGA 后的 PCB 移至返修台加热位置。

(4) 再流

按预定温度曲线加热后即完成 BGA 的返修。

6. BGA 使用注意事项

- ① 温度设定则须合理, 防止因温度过高烧坏元件或温度太低造成冷焊。
- ② 焊料球则须区分开有铅 / 无铅, 严禁混用。

1.9.2 BGA返修台的作用、返修基本方法及应遵循的原则

1. BGA 返修台的作用

在 SMT 应用中普遍使用了几种球阵列封装芯片技术, 如塑封球栅阵列、陶瓷球栅阵列和陶瓷柱状阵列。由于这些封装的不同物理特性, 加大了 BGA 的返修难度。在返修时, 通常都是使用自动化设备进行的。因此, 了解这几种类型封装结构和热能对其返修过程的影响是很重要的, 这样不仅节省了时间和资金, 提高了返修效率和质量, 并且在很多情况下, 可以自己动手修复 BGA 封装。

BGA 返修工作内容包括: 从有缺陷的 PCBA 上拆除其有缺陷的 BGA 芯片, 修复有缺陷的芯片 (如重新植球), 将修复或更新好的芯片重新焊接到 PCBA 上。

显然 BGA 返修台的作用就是进行 BGA 芯片的焊接和返修的专用设备, 是一种最省时、省力、安全的返修和焊接方法。

2. BGA 返修台工作的基本方法

① 从 PCB 组件上将有问题 BGA 拆下来。拆除后的 BGA 焊料球的一部分残留在 PCBA 的焊盘上, 而另一部分焊料球则残留在芯片侧的芯片 PCB 焊盘上, 形成大量的拉尖。因此, 在返修之前, 要求对上述焊盘进行清理和修复, 去除多余的焊料。

② 对 PCB 焊盘进行清理后, 可采用在焊盘区域用手工工具涂刷助焊剂或者印刷焊膏的方法, 在贴装元件后, 在适当的加热温度曲线下, 对 PCB 进行重熔再流, 从而完成 PCBA 的 BGA 返修工作。



3. BGA 返修中应遵循的基本原则

① 所有 BGA 的返修都要遵循一个基本原则,即必须减少 BGA 封装和 PCB 焊盘暴露于热循环的次数。因为随着热循环次数的增加,热能损坏焊盘、焊料掩膜和 BGA 封装本身的可能性也越来越大。

② 在再流工艺中,BT 基板上的每个焊料球,球局部呈扁平状,如高度约为 24mil。在 PCB 上贴装 PBGA 的过程中,都要对每个焊料球进行第二次再流和使其进一步的“坍塌”,高度进一步降低到 19mil。

③ 目前,PBGA 在 BGA 封装中是最普遍的一种,主要是由于 PBGA 使用 2~4 层的 BT 树脂基板。硅芯片是用环氧树脂黏结剂黏到基板上面的特定位置上,再线焊到其周转的蚀刻铜线路上。这些铜线分布在顶部封装的四周,并通过基板外部通孔与反面线路耦合。之后,反面线路成扇形扩散到基板底部焊盘阵列。PBGA 焊料球(其成分一般为 62Sn/36Pb/2Ag 的近似共晶)经再流与焊接区域连接。接下来将液体光成像焊料掩膜应用到基板顶部的四周,将环氧树脂超压模化合物施用于组件的上面,并固化。这样就为组装创造了返修条件和提供了操作保护。

④ CBGA 在很多方面与 PBGA 封装有着明显的差别,CBGA 使用的非坍塌高度的焊料球。在生产制造过程中,用共晶合金焊料将这些焊料球连接于 CBGA 的底部。在再流过程中,由于 CBGA 焊料球不会坍塌,故封装及 PCB 板焊盘之间的共面性要求较高。CBGA 工艺要求底部预热更精确,以减少 PCB 的翘曲和共面性的变化。在 CBGA 的焊盘准备清理过程中,不能在高温下再流,以避免焊料沉积在焊盘上,只要达到共晶合金焊料再流的温度即可。

⑤ BGA 的返工、返修与操作人员有着密切关系,成功的返修要求操作人员具备 BGA 封装拆除和重贴等方面的结构、热特性和创建曲线等知识。设备的正确操作及严格按照工艺规程进行,是确保返修的均匀一致性和成功的基础。

4. 返修温度曲线要求

与正常生产的再流焊温度曲线相比,返修过程对温度控制的要求要高得多,正常的再流焊温度曲线与理想的 BGA 返修温度曲线两者的差异如图 1.55 所示。因为在常规的再流焊炉内,几乎没有热量流失。而对于返修,一般情况是将单板暴露在空气中对单个器件进行高温操作,热量流失相当严重。

标准的再流由 3 个温区构成(见表 1.1):预热区、保温区和再流区,再流过后是 PCB 冷却至 100℃以下的过程。使用无铅组装时,焊接工艺变得尤为关键。无铅所需的较高温度(达 235℃)以及 BGA/CSP 对高温的敏感性,使得不正确的温度上升过程很容易损坏元器件。

表 1.1 标准再流的温区设定

| 焊接区 | 持续时间 (s) | 温度要求 (℃) |
|-----|----------|--------------|
| 预热 | 100~130 | 100~150 |
| 保温 | 90~120 | 150~183 |
| 再流 | 45~60 | 200~210 (峰值) |

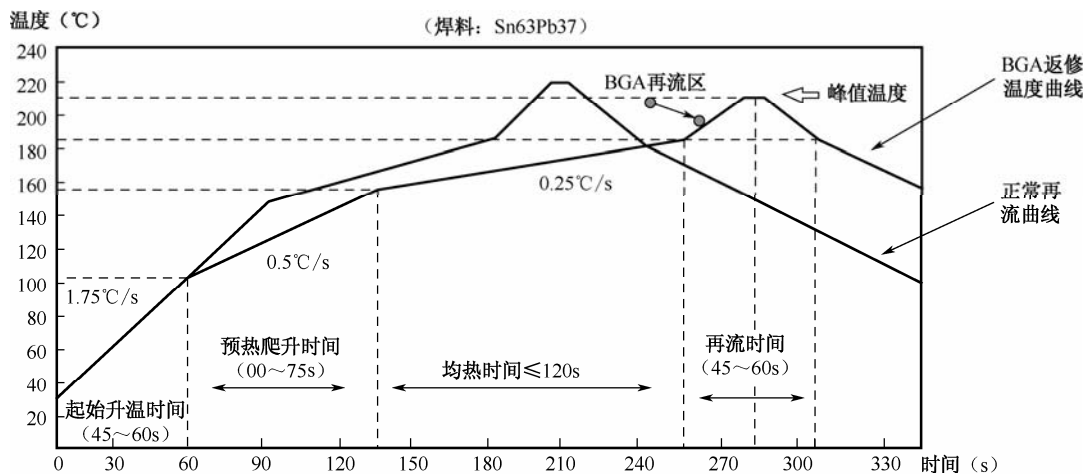


图 1.55 温度曲线比较

如图 1.55 所示, BGA 返修温度曲线的温度从初始预热到焊球熔化 (183°C) 所需要的时间相对更长, 焊接区的升温斜率更加平滑。

思考题

- ① 如何理解电子装联的含义? 传统电子装联与现代电子装联有何差别?
- ② 电子装联工艺装备对电子产品生产有何作用? 它是如何分类的?
- ③ 什么叫波峰焊接? 采用波峰焊接工艺有什么好处?
- ④ 如何定义波峰焊接设备? 波峰焊接设备如何分类?
- ⑤ 为什么要发展选择焊接技术? 在什么情况下可选用此种工艺?
- ⑥ 什么叫再流焊接?
- ⑦ 再流焊接温度曲线常由哪些区段组成? 请详述各区段的技术参数要求及作用。
- ⑧ 什么叫表面贴装工程? 在技术上它有哪些特点?
- ⑨ 什么叫贴装设备? 这种设备通常具备哪些特征?
- ⑩ 什么是焊膏印刷工艺? 焊膏印刷机是如何定义的?
- ⑪ 焊膏印刷机通常由哪几部分组成? 各有何作用?
- ⑫ AOI 是如何定义的? 在 SMA 生产中导入 AOI 有何意义?
- ⑬ AOI 设备主要有哪几部分组成? 各部分有何作用?
- ⑭ 配置在焊膏印刷后的 AOI 的主要检测项目有哪些?
- ⑮ 配置在再流焊接炉后的 AOI 的主要检测项目有哪些?
- ⑯ 什么是 X-Ray 检测仪? 在哪些场合下可采用 X-Ray?
- ⑰ 什么是 BGA? 其封装有何特点?
- ⑱ 请描述 BGA 返修工作台的基本结构组成。如何分类以及各有何优缺点?
- ⑲ BGA 返修台的作用、返修基本方法及应遵循的原则有哪些?
- ⑳ 与正常生产的再流焊接温度曲线相比, 返修过程的温度曲线有何不同?

第2章 电子装联环境及物料管理技术应知



本章要点

- 📁 电子安装物理环境要求
- 📁 通用元器件验收、储存及配送工艺应知
- 📁 潮湿敏感表面元器件的入库验收、储存、配送及组装过程工艺应知
- 📁 静电敏感元器件验收、储存、配送、预加工、装焊工艺过程防护操作应知
- 📁 温度敏感元器件验收、储存、配送、预加工、装焊工艺过程防护应知
- 📁 焊料、助焊剂入库验收、储存、配送工艺应知
- 📁 电子装联用焊膏验收、储存、配送、使用工艺应知
- 📁 SMT 贴片胶入库验收、储存、配送工艺应知
- 📁 UNDERFILL 胶、清洗剂、导热胶入库、验收、储存、配送工艺应知
- 📁 生产过程物料配送工艺要求



2.1 电子安装物理环境要求

2.1.1 名词定义

- ① 脏污：影响正常状态的那些由外界介入的不需要的物质，通常是些不良的成分。
- ② 脏污控制：将对产品合格率和可靠性有不利影响的所有人员、操作、设备、设施、物料、环境等联系考虑的全系统控制。

2.1.2 物理环境条件及场地文明卫生要求

1. 物理环境条件

- 温度：25℃±3℃。
- 湿度：50%±10%RH。
- 洁净度：按工作区域的不同，可有不同要求，如表 2.1 所示。

表 2.1 洁净度

| 工作区 | 洁净等级 | |
|-----------------------|-----------|---------------------|
| | ISO | 美国联邦标准 FED-STD-209E |
| SMT、装焊、返修等工作区、元器件储存区 | 8 级（100K） | 100 000 级 |
| 精密元件、小型电路组装件、精密元器件储存区 | 7 级（10K） | 10 000 级 |
| 混合电路和 IC 电路的非关键的外部加工 | 7 级（10K） | 10 000 级 |
| 关键的内部装配 | 5 级（100） | 100 级 |

注：① FED-STD-209E 100 000 级的定义：即悬浮在每立方英尺空气内，颗粒大于或等于 0.5μm 微粒个数不超过 100 000 个。

② ISO 的分级见表 2.2。

- 气压：比常压略高；或工作区域与外界应以两道房门隔开，这两道门之间，至少应有 25m 直线距离的空气静止不流通的空间。
- 照明：工作面的光强度至少应有 1077 勒克斯。

表 2.2 洁净度级别（新 ISO 标准）

| 洁净度等级 | | 最大浓度限制（大于或等于所标粒径的颗粒数） | | | | | | | | | | | |
|---------|---------|-----------------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| | | 0.1μm | | 0.2μm | | 0.3μm | | 0.5μm | | 1.0μm | | 5.0μm | |
| ISO | English | m ³ | ft ³ | m ³ | ft ³ | m ³ | ft ³ | m ³ | ft ³ | m ³ | ft ³ | m ³ | ft ³ |
| Class 1 | \ | 10 | \ | 2 | \ | \ | \ | \ | \ | \ | \ | \ | \ |
| Class 2 | \ | 100 | \ | 24 | \ | 10 | \ | 4 | \ | \ | \ | \ | \ |
| Class 3 | 1 | 1000 | 35 | 237 | 7.5 | 102 | 3 | 35 | 1 | 8 | \ | \ | \ |
| Class 4 | 10 | 10 000 | 350 | 2370 | 75 | 1020 | 30 | 352 | 10 | 83 | \ | \ | \ |
| Class 5 | 100 | 100 000 | \ | 23 700 | 750 | 10 200 | 300 | 3520 | 100 | 832 | \ | 29 | \ |
| Class 6 | 1 000 | 1 000 000 | \ | 237 000 | \ | 102 000 | \ | 35 200 | 1000 | 8 320 | \ | 293 | 7 |
| Class 7 | 10 000 | \ | \ | \ | \ | \ | \ | 352 000 | 10 000 | 83 200 | \ | 2930 | 70 |
| Class 8 | 100 000 | \ | \ | \ | \ | \ | \ | 3 520 000 | 100 000 | 832 000 | \ | 29 300 | 700 |
| Class 9 | \ | \ | \ | \ | \ | \ | \ | 35 200 000 | \ | 8 320 000 | \ | 293 000 | \ |



2. 场地文明卫生要求

- 操作和储存场地应避免设置在大功率辐射源电磁场、强静电、强磁场或放射场附近。
- 在进入工作场地的醒目位置应张贴或悬挂有 ESD 损害的防护警告标识，如图 2.1 和图 2.2 所示。



图 2.1 ESD 敏感



图 2.2 ESD 防护符

- 操作人员进入工作场地工作时，应穿戴防静电服、鞋和帽、头发不得外露在工作帽外。离开工作区时应脱去工作服、鞋、帽。
- 接触元器件时应戴经测试合格的防静电手环和有 EOS/ESD 防护功能的手套或指套。
- 工作台、工具等的接地线，应确保接地良好。
- 工作人员所用的图纸、资料等应装入透明的防静电塑料袋内，不得使用普通的塑料袋。
- 保持工作台干净整洁，工作区域或工作台上禁放与操作无关的物品，如餐具、食品、饮料、茶杯、茶叶盒、提包、毛织品、塑料制品、鸡毛掸、报刊、橡胶手套、药瓶、圆锥形纸卷等物品。
- 物流通道和人流通道应分道，并有识别标识。
- 待加工物料存放区和已加工物料存放区要分开设置，并有识别标识。
- 应有完善的脏污控制措施。
- 人员必须经过培训上岗。
- 对外来参观人员应简明介绍有关规定并严格遵守。
- 在静电防护区内操作时，不得随意推拉窗帘（除非挂置防静电专用窗帘）。

3. 5S 要求

- 所有设备、工作区域、工作台面不得有尘土污垢、油脂，油和其他脏污物。
- 工作区内不允许进行会引起粉尘的工作（如打砂纸、磨削等）。
- 不许扫灰和掸灰。清扫时应当使用湿拖把或吸尘法。
- 所有进入该区域的材料和元器件的洁净度，应与该区内所要求控制的洁净度水平相当。
- 不允许把易产生脏污的物品带入区内，如报纸、碎片、起毛的布干拖把和掸子等。
- 区域内禁止使用铅笔。
- 工作服和防静电手套应保持洁净。
- 元器件应放在防静电容器中，不允许直接放在工作台面上。
- 损坏的元器件应单独区分放置，并做好标识，以免误用，更不允许与其他物料混装。
- 禁止堆叠电子组件，以免导致机械性损伤。
- 操作中，不得随意触摸元器件的可焊端，不许靠近正在操作的人员。



- 接触 PCB 和元器件时应戴经测试合格的防静电手环和具有电气过载防护功能的手套或指套。
- 抓握 PCB 及其组件时只能接触 PCB 的边缘，如图 2.3 和图 2.4 所示。

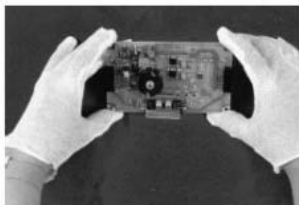


图 2.3 只能接触 PCB 边缘



图 2.4 能接触 PCB 边缘

- 工作人员所用的文件资料等应装入透明的防静电塑料袋内，不得使用普通的塑料袋。
- 检焊人员必须经过培训并严格遵守 ESD 规章制度。

2.2 通用元器件验收、储存及配送工艺应知

2.2.1 名词定义

通用元器件：广义讲就是除静电敏感、潮湿敏感、温度敏感等元器件以外的无特殊性要求的其他元器件的总称，如一般用途的电阻、电容和电感等。

2.2.2 通用元器件引线或端子镀层耐久性要求

通用元器件引线或端子镀层的耐久性，通常区分为下述三类。

(1) 类型 1

最小镀层耐久性。适用于从测试时间算起，短时间内（如不超过 6 个月）要焊接并且焊接前可能经历最小热暴露的元器件表面。

(2) 类型 2

标准镀层耐久性（非锡或非锡铅镀层）。适用于非锡或非锡铅镀层的焊接面，测试后经过一段延长时间再焊接，在焊接前能经受适度暴露在受热环境中。

(3) 类型 3

标准镀层耐久性（默认为锡或锡铅镀层）。适用于锡或锡铅镀层的焊接面，其测试后经过一段延长存储时间（如大于 6 个月）再焊接，或者焊接前能经受多次暴露在受热环境的考验。

对各类元器件引脚或焊端表面镀层耐久性的加速试验要求，如表 2.3 所示。



表 2.3 元器件引脚和可焊端蒸汽老化试验要求条件

| 类型 1 | 类型 2 | 类型 3 |
|---------|---------------|----------------|
| 无蒸汽老化要求 | 1 小时±5 分钟蒸汽老化 | 8 小时±15 分钟蒸汽老化 |

在采购合同中应当向制造商指明要求的镀层耐久性。如果没有指明,则对于锡和锡-铅镀层,默认镀层耐久性为类型 3。

2.2.3 通用元器件的验收、储存及配送管理

1. 入库验收

(1) 检查包装

通用元器件入库时应根据每类元器件的包装要求,检查包装的完好性以及包装上是否有供货单位名称、物料编码、物料名称、规格型号、生产批次和生产日期,并且生产日期不能超过元器件规定的库存期要求。

所有外包装不应有严重的变形及压伤痕迹,否则拒收,外包装有轻微划伤但内包装不受损可以接收。

(2) 外观验收

- 目测抽检元器件的外观应洁净,表面印字完整、清晰、无划痕和损伤。
- 引脚及可焊端面涂层应连续、有金属光泽、无变色及锈迹。
- 元器件表面、焊端或引脚表面无可见划痕、开裂和机械损伤。
- 元器件的规格型号应与物料代码手册要求一致。
- 有极性元器件(二极管、IC 等)的摆放方向应完全一致。
- 卷带包装的卷带方向应当一致并满足企业要求。

(3) 尺寸测量

- 元器件各尺寸的测量值应当与产品规格书一致,公差在规格书规定的范围以内。
- 发现尺寸有超差的情况,应当再次验证,若判定超差,应当拒收。
- 若产品没有提供公差范围,按照企业检验标准有关规定判定。

(4) 清点

管理人员在清点数量时,应采用目测方法在元器件的原包装内清点数量,不得用手触摸元器件的引线、可焊端、连接片、导线等,以免造成对元器件可焊性的影响。

(5) 可焊性测试

元器件在入库前,抽样并按照 3 类蒸汽老化后,按可焊性标准进行可焊性测试,测试合格方可入库。



2. 储存

(1) 库房管理

各类通用元器件的存放区应有明显的标识。

(2) 存放要求

- 所有元器件必须保持原有的包装和标识，每一个最小包装的盒（或袋）上应贴有相应条码。
- 货柜、货架上的元器件必须装在专用管、袋或盒中，不得裸放。
- 元器件的发放应遵循“先进先出”的原则，先入库的元器件先发，后入库的元器件后发。
- 元器件库房保管员每月要定期检查库存情况，对超出储存期的元器件应及时从元器件库中分离开，并送 IQC 重新复验。
- 对超出储存期经复验合格的元器件，由材料技术部重新包装并贴上“合格超期代用”的标签及复检合格证，放入原位号继续使用。对超期使用的物品，以后每半年复检一次。
- 对超期且复检不合格的元器件，可试验验证其可用性，并与供应商联系，试验验证合格后由材料质量部重新包装并贴上“合格超期代用”的标签及复检合格证，放入原位号继续使用。验证不合格，不能使用，检验人员无法判定元器件是否可用时，将元器件退到不合格品区暂存，等候处理。

(3) 配送

通用元器件配送，包括收、发、领料等内容。配送中工作人员应严守下列规定。

- 配送过程必须在洁净区进行。
- 操作人员在清点元器件数量时不可用裸露的手触摸元器件的可焊端。

(4) 退料

因某种特殊原因已领用的元器件需要退库时，库房人员需将元器件交质量部质检科（IQC）对退库元器件进行复检。对合格品签发入库合格证和同意入库的意见，元件库保管员才能接受入库。

2.3 潮湿敏感表面元器件的入库验收、储存、配送及 组装工艺应知

2.3.1 名词定义

1. 潮湿敏感元器件

凡是在储存、运输和安装等过程中，非密封塑封元器件因吸收空气中的潮气而诱发损伤，



这样的元器件统称为潮湿敏感元器件（Moisture-Sensitive Device, MSD）。

2. “爆米花”现象

当 MSD 暴露在再流焊接升高温度的环境时，因渗入 MSD 内部的潮气蒸发产生足够大的压力，使封装塑料从芯片或引脚框上分层、线捆接和芯片损伤及内部裂纹，在极端情况下，裂纹延伸到 MSD 表面，甚至造成 MSD 鼓胀和爆裂，这就是人们所说的“爆米花”现象。

3. MSD 的敏感度

MSD 受潮湿气体影响的敏感程度称为敏感度，其分级如下所述。

- 1 级：≤30℃/85% RH，无限车间寿命。
- 2 级：≤30℃/60% RH，一年车间寿命。
- 2a 级：≤30℃/60% RH，四周车间寿命。
- 3 级：≤30℃/60% RH，68 小时车间寿命。
- 4 级：≤30℃/60% RH，72 小时车间寿命。
- 5 级：≤30℃/60% RH，48 小时车间寿命。
- 5a 级：≤30℃/60% RH，24 小时车间寿命。
- 6 级：≤30℃/60% RH，必须在标签注明的时间内完成再流焊接。

4. 湿气传输率（WVTR）

湿气传输率是指塑料薄膜或金属化塑料薄膜材料对湿气的渗透能力，是衡量防潮袋性能优劣的一项重要指标。

5. 防潮袋（MBB）

防潮袋是一种用于包装 MSD 以防止水汽渗入的袋子，如图 2.5 所示。

MBB 的柔韧性、静电防护、机械强度和渗透性等要求，应满足 MIL-B-81705 类型 I 中的要求。按照 ASTM F 1249-90 规定和 ASTM F392-93 条件“E”进行柔性测试，在 40℃、24 小时内水汽传输率应小于或等于 0.02mg/645cm。



图 2.5 防潮袋（MBB）



6. 车间寿命

当车间环境温度/湿度小于或等于 $30^{\circ}\text{C}/60\%\text{RH}$ 时, MSD 从包装防潮袋中取出到再流焊接前, 在车间允许暴露的最大时间。

7. 库存寿命

根据湿度显示卡(以下简称 HIC)读数, 存储在仓库中的 MSD, 在未开封的 MBB 内层中保持预定干燥度的最小时间。

8. 制造暴露时间 (MET)

MSD 按制造商要求烘烤完成后到包装袋封口前的最大时间。它还包括配送时对已开封的 MSD 小批分散传递过程中允许的最大暴露时间。

9. 干燥剂

一种置于 MSD 防潮包装袋中的以维持相对低湿度的吸潮物质, 如图 2.6 所示。

干燥剂材料应符合 MIL-D-3464 类型 II 的标准要求。它应封装在可透气的小袋里。每袋干燥剂的用量, 应视防潮袋的表面积和 WVTR 而定, 25°C 时能保持 MBB 内部的相对湿度小于 10%。

10. 干燥箱

存放 MSD 的专用箱, 在该箱内温度应维持在 $25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 、湿度应小于 10%RH。箱内可使用氮气或干燥气体, 如图 2.7 所示。



图 2.6 干燥剂



图 2.7 干燥箱

11. 干燥包装

一种由干燥剂袋、湿度指示卡 (HIC)、MSD 和防潮袋等共同构成的一种包装形式, 如图 2.8 所示。

原存放在真空袋中的元器件, 当开袋后, 应重新干燥和封口。如果累计暴露时间不超过 1 小时, 原来的干燥剂可再使用。否则应重新置换活性干燥剂。

12. 湿度显示卡 (HIC)

一种印有对潮湿敏感的化学物质的卡片, HIC 上应至少有 3 种颜色的点, 分别对应湿度



敏感度值为 5%RH、10%RH、15%RH，如图 2.9 所示。

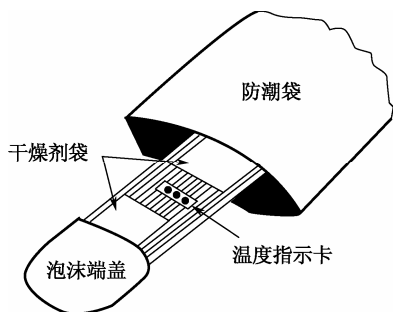


图 2.8 干燥包装

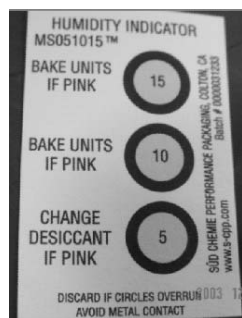


图 2.9 3 种颜色的湿度显示卡

也有 6 种颜色点的，它们分别对应的敏感度值为 10%RH、20%RH、30%RH、40%RH、50%RH、60%RH，如图 2.10 所示。



图 2.10 6 种颜色的湿度显示卡

当它的颜色由蓝色转变为粉红色时，即表示相对湿度超标了。该卡片与干燥剂一起装入 MSD 包装袋中，以标识该 MSD 的潮湿等级。HIC 应符合 MIL-8835 标准。

2.3.2 MSD 的分类及 SMT 包装的分级

1. MSD 的分类和分级

当封装材料为酚醛树脂、联苯、多功能环氧树脂、硅树脂等化合物封装的 MSD 时，其分类随封装结构形式、封装体的厚度和环境温度的不同而不同，如表 2.4 所示。

表 2.4 酚醛树脂、联苯或多功能环氧树脂封装器件在 20℃、25℃ 和 30℃ 时的分类和分级

| 元器件体类型和厚度 | M.S.等级 | 最大相对湿度百分比和车间寿命（天） | | | | | | | | |
|--|--------|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| | | 20% | 30% | 40% | 50% | 60% | 70% | 80% | 90% | |
| 体厚度≥3.1mm， PQFP>84 引脚， PLCC（正方形）、 MQFP 或 PBGA | 等级 2a | ∞ | 60 | 41 | 33 | 28 | 10 | 7 | 6 | ←30℃ |
| | | ∞ | 78 | 53 | 42 | 36 | 14 | 10 | 8 | ←25℃ |
| | | ∞ | 103 | 69 | 57 | 47 | 19 | 13 | 10 | ←20℃ |
| | 等级 3 | 10 | 9 | 8 | 7 | 7 | 5 | 4 | 4 | — |
| | | 13 | 11 | 10 | 9 | 9 | 7 | 6 | 5 | |
| | | 17 | 14 | 13 | 12 | 12 | 10 | 8 | 7 | |
| | 等级 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | — |
| | | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 3 | 3 | 3 | |
| | | 7 | 7 | 7 | 7 | 6 | 5 | 4 | 4 | |



续表

| 元器件体类型和厚度 | M.S.等级 | 最大相对湿度百分比和车间寿命(天) | | | | | | | | |
|--|--------|-------------------|----------|----------|----------|----------|-----|-----|-----|---------------------------------|
| | | 20% | 30% | 40% | 50% | 60% | 70% | 80% | 90% | |
| 体厚度 $\geq 3.1\text{mm}$, PQFP >84 引脚, PLCC(正方形)、 MQFP或PBGA | 等级 5 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | — |
| | | 5 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | |
| | | 7 | 6 | 5 | 5 | 4 | 3 | 3 | 3 | |
| | 等级 5a | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | — |
| | | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | |
| | | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | |
| 2.1mm \leq 体厚度 $<3.1\text{mm}$, PLCC(矩形)18~ 32 引脚, SOIC(宽体) ≥ 20 引脚, PQFP ≤ 80 引脚 | 等级 2a | ∞ | ∞ | 86 | 39 | 28 | 4 | 3 | 2 | $\leftarrow 30^{\circ}\text{C}$ |
| | | ∞ | ∞ | 148 | 51 | 37 | 6 | 4 | 3 | $\leftarrow 25^{\circ}\text{C}$ |
| | | ∞ | ∞ | ∞ | 69 | 49 | 8 | 5 | 4 | $\leftarrow 20^{\circ}\text{C}$ |
| | 等级 3 | 19 | 12 | 9 | 8 | 7 | 3 | 2 | 2 | — |
| | | 25 | 15 | 12 | 10 | 9 | 5 | 3 | 3 | |
| | | 32 | 19 | 15 | 13 | 12 | 7 | 5 | 4 | |
| | 等级 4 | 5 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | — |
| | | 7 | 5 | 5 | 4 | 4 | 3 | 2 | 2 | |
| | | 9 | 7 | 6 | 6 | 5 | 4 | 3 | 3 | |
| | 等级 5 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | — |
| | | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | |
| | | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | |
| | 等级 5a | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.5 | 0.5 | — |
| | | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | |
| | | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | |
| 体厚度 $<2.1\text{mm}$ TSOP, SOIC <18 引脚, TQFP 或 TBGA | 等级 2a | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | 28 | 1 | 1 | 1 | $\leftarrow 30^{\circ}\text{C}$ |
| | | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | 2 | 1 | 1 | $\leftarrow 25^{\circ}\text{C}$ |
| | | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | 2 | 2 | 1 | $\leftarrow 20^{\circ}\text{C}$ |
| | 等级 3 | ∞ | ∞ | ∞ | 11 | 7 | 1 | 1 | 1 | — |
| | | ∞ | ∞ | ∞ | 14 | 10 | 2 | 1 | 1 | |
| | | ∞ | ∞ | ∞ | 20 | 13 | 2 | 2 | 1 | |
| | 等级 4 | ∞ | 9 | 5 | 4 | 3 | 1 | 1 | 1 | — |
| | | ∞ | 12 | 7 | 5 | 4 | 2 | 1 | 1 | |
| | | ∞ | 17 | 9 | 7 | 6 | 2 | 2 | 1 | |
| | 等级 5 | 13 | 5 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | — |
| | | 18 | 6 | 4 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | |
| | | 26 | 8 | 6 | 5 | 4 | 2 | 2 | 1 | |
| | 等级 5a | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.5 | — |
| | | 5 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | |
| | | 6 | 4 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | |

2. SMT 包装的分级

多数 IC 制造商的包装都按照其对潮湿诱发损害的敏感性程度进行分级。表 2.5 列举了部分 SMT 产品包装的潮湿敏感性分级。



表 2.5 部分 SMT 产品的潮湿敏感性分级

| 类型 | 一级 | 二级 | 三级 |
|-------|------------------|------------|-------------|
| PLCC | PN (20/28) | | FN (44/68) |
| SOIC | D (9/14/16) | | FN (44/68) |
| | DW (16/20/24/28) | | |
| SSOP | DBQ (16/20/24) | | |
| | DB (14/16/20/24) | | |
| | DB (28/30/38) | | |
| TSSOP | DL (28/48/56) | PW (20/24) | DGG (48/56) |
| | DCT (8) | | |
| | PW (8/14/16) | | |
| | DGG (64) | | |

注：括号内为引脚数。

大多数表面贴装产品使用 EIA/JEDEC A112-A 和 EIA/JEDEC A113-B 规定的程序来测试对潮湿的敏感性。任何指示为二级或以上的包装都要求通过烘焙或在真空中进行除湿，接着进行干燥包装。运输中运输容器应按照产品的潮湿敏感性分级贴上标签。

2.3.3 潮湿敏感性标志

1. 潮湿敏感鉴定 (MSID) 标志

潮湿敏感鉴定标志，如图 2.11 所示。



图 2.11 潮湿敏感鉴定标志

2. 潮湿敏感警告标志

潮湿敏感警告标志，如图 2.12 所示。

| | | |
|--|------------------------------|--|
| | 警告 袋中装有 潮湿敏感元器件 | 等级 <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div> 若空缺，见近旁的 条形码标签 |
| ① 封口袋内的车间寿命计算：12个月，在<40℃和<90%相对湿度（RH）条件下 ② 封装体峰值温度 _____℃ 若空缺，见近旁的条形码标签 ③ 打开封口袋后，需进行再流焊接或其他高温工序的元器件必须满足： a) 在=30℃/60%RH车间环境下 _____小时内必须贴装 b) 在<10%RH环境中存储 _____若空缺，见近旁的条形码标签 ④ 以下情况元器件要求贴装前烘烤： a) 湿度指示卡在23℃±5℃读数时显示>10%RH b) 未满足3a或3b ⑤ 元器件如果需要烘烤，可在125℃±5℃烘烤48小时 注意若元器件容器不耐高温，须减短烘烤时间 烘烤工序参考IPC/JEDEC J-STD-033 防潮袋封口日期：_____ 若空缺，见近旁的条形码标签 注：等级和体温度依据IPC/JEDEC J-STD-020确定。 注意：潮湿敏感等级和原器件体温度由IPC/JEDEC J-STD-020定义 若空缺见近旁条形码标签 | | |

图 2.12 潮湿敏感警告标志



潮湿敏感鉴定（MSID）标志应贴在装有 MBB 的最外层运输箱上，通常在条形码标签的附近，如图 2.13 所示。

潮湿敏感警告标签应贴在 MBB 的外表上，以指示内包装有 MSD，如图 2.14 所示。

潮湿敏感警告标签通常应用于抽真空的防潮袋外面，该标签应包括详细的对元器件独特的信息，如潮湿敏感级别、包装体的峰值温度、场地寿命、开袋之后的暴露时间、何时要求烘焙、烘焙程序以及袋的抽真空日期等。



图 2.13 MSID 标志通常贴在条形码标签附近



图 2.14 潮湿敏感警告标签通常贴在防潮袋外面

2.3.4 MSD的入库、储存、配送、组装工艺过程管理

1. 入库验收

(1) 真空袋检查

- 检查警告标签或条形码上的封袋日期，如图 2.15 所示。
- 检查包装袋的完整性（有无洞、凿孔、撕破、针孔或任何会暴露内部的开口）。
- 潮湿敏感元器件的外包装上应有潮湿敏感指示标志及潮湿敏感警告标签。
- 如果发现有开口，应参照湿度指示卡（HIC）显示的状态，决定是否拒收（通知供货商采取恢复措施）。



图 2.15 真空包装

- 不同等级的 MSD 包装要求见表 2.6。



表 2.6 MSD 包装要求

| 等 级 | 袋装前干燥 | MBB | 干燥剂 | MSID 标签 | 警告标签 |
|-------|-------|-----|-----|---------|----------------------|
| 1 | 可选 | 可选 | 可选 | 不要求 | 在 220℃ 和 235℃ 分级时做要求 |
| 2 | 可选 | 要求 | 要求 | 要求 | 要求 |
| 2a~5a | 要求 | 要求 | 要求 | 要求 | 要求 |
| 6 | 可选 | 可选 | 可选 | 要求 | 要求 |

- 检查 MSD 包装袋上警告标签或条形码上的封口日期，若封口日期已超过一年，应当判定为不合格并按不合格品处理或与供应商联系采取恢复措施，如图 2.16 所示。

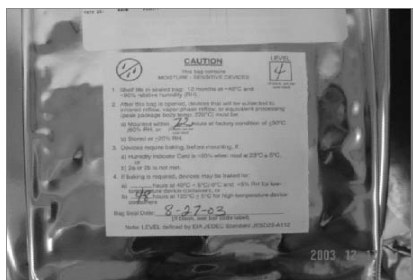


图 2.16 检查 MSD 包装袋上警告标签或条形码上的封口日期

(2) MSD 检查

- 一般情况下尽可能不破坏原有的密封包装，当需要进行 MSD 拆包装检查时，应将完好的抽真空袋在接近封口处的顶部割开（方便再封口）。

若 HIC 上 10%RH 指示圆点已经变色，应通知供货商采取恢复措施，检查完成后可再与活性干燥剂一起重新装入抽真空袋中并封口。

若 HIC 上 5%RH 指示圆点已经变色而 10%无明显变色，应立即更换有活性的干燥剂。

- MSD 检查时间尽量不超过 1 小时；待检超过 2 小时的元器件应放入干燥柜或干燥箱内待检。
- MSD 检验暴露时间应计入暴露时间标签，不同等级的 MSD 采用不同颜色的记录标签，如图 2.17 所示。

| | |
|--|--|
| 防潮等级: <u>3</u> 级 车间寿命: <u>168</u> 小时 检验/库房暴露时间: ____ 小时 / ____ 小时 库房拆包时间: ____ 月 ____ 日 ____ 时 配送封包时间: ____ 月 ____ 日 ____ 时 | 防潮等级: <u>4</u> 级 车间寿命: <u>72</u> 小时 检验/库房暴露时间: ____ 小时 / ____ 小时 库房拆包时间: ____ 月 ____ 日 ____ 时 配送封包时间: ____ 月 ____ 日 ____ 时 |
| 防潮等级: <u>5</u> 级 车间寿命: <u>48</u> 小时 检验/库房暴露时间: ____ 小时 / ____ 小时 库房拆包时间: ____ 月 ____ 日 ____ 时 配送封包时间: ____ 月 ____ 日 ____ 时 | 防潮等级: <u>6</u> 级 车间寿命: ____ 小时 (标签时间) 检验/库房暴露时间: ____ 小时 / ____ 小时 库房拆包时间: ____ 月 ____ 日 ____ 时 配送封包时间: ____ 月 ____ 日 ____ 时 |

图 2.17 不同等级 MSD 暴露时间标签



(3) MSD 清点

仓储人员进行 MSD 数量清点时,应尽量不破坏 MBB。若必须进行逐个清点时,割开 MBB 后应在最短的时间内清点完,然后再与活性干燥剂一起重新装入 MBB 中并封口。此操作允许暴露的最大时间应小于制造暴露时间 (MET)。

2. 储存

(1) 库房管理

- MSD 存放区应有明显的标识。
- 密封干燥包装的 MSD 元器件在条件允许的情况下,在干燥柜内存放,等级为 6 级的原件必须密封后在干燥柜内存放。
- 拆包之后的 MSD 元器件应使用真空包装袋密封包装,并放入干燥剂。依照常用的 3 种真空包装袋的尺寸和干燥剂的类型,500mm×450mm 的真空袋需要放入 6 袋干燥剂,700mm×200mm 的真空袋需要放入 2 袋干燥剂,500mm×250mm 的真空袋需要放入 2 袋干燥剂。
- 若为非密封干燥包装的 MSD 散料,必须在干燥柜内存放。
- 干燥柜内湿度控制在 10%RH 以下;
- 同种 MSD 散料应单独存放,不可和其他物料混装。
- MSD 应分级分类存放,存放柜应有分级标识,如图 2.18 至图 2.24 所示。

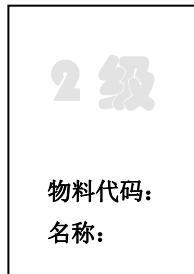


图 2.18 MSD 分级标签

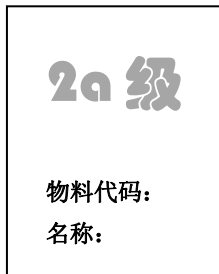


图 2.19 MSD 分级标签

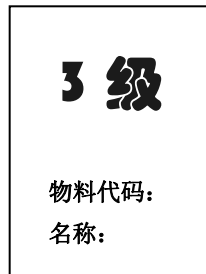


图 2.20 MSD 分级标签

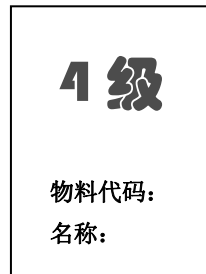


图 2.21 MSD 分级标签

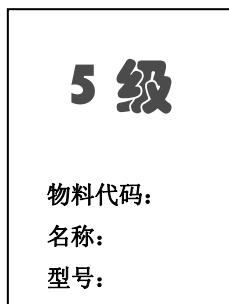


图 2.22 MSD 分级标签

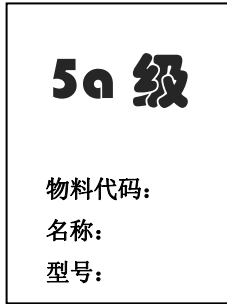


图 2.23 MSD 分级标签

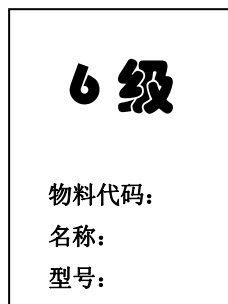


图 2.24 MSD 分级标签

(2) 库存寿命

干燥包装的 MSD 库存寿命:在存储条件为温度小于 40℃、湿度小于 90%RH 的非冷凝空气环境中,从包装封口日算起最小为 12 个月。



(3) 安全存储

安全存储是指元器件保存在一个湿度可以控制的环境中储存,这样车间寿命可维持在零记录。以下列出了 2a~5a 级元器件可接受的安全存储分类。

① 干燥包装。

在干燥包装完好的 MBB 中的元器件,预期的存储寿命为:由警告或条形码上标示的封袋日期算起为 12 个月。

② 空气干燥橱。

散装 MSD 应放置在空气干燥橱中,橱内的温度和湿度条件应维持在 $25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 和 $< 10\%\text{RH}$ 。

(4) 定期监视储存状况

湿度指示卡(HIC)会提示干燥包装内湿度的变化情况。当出现误处理(如缺少干燥剂或干燥剂量不足),误操作(如 MMB 撕裂或割裂)或是存储不当时,HIC 会及时做出反应。相应的判断及处理方法以原包装说明及内部指示卡上的要求为准。

现以敏感读数 5%RH、10%RH、15%RH 的 HIC 指示卡为例,具体判断如下。

① 如果 10%RH 点为蓝色,如图 2.25 所示,表示合适。若干燥袋要再次封口,应更换活性干燥剂。

② 如果 5%RH 点为粉红色而且 10%RH 点不为蓝色,如图 2.26 所示,则表示 MSD 暴露已超过了潮湿敏感等级(如库存寿命过期等),必须按照原包装警告标签上的说明进行干燥处理。若警告标签上无具体烘烤操作说明或警告标签丢失时,则必须按表 2.7 所示规定进行干燥处理。

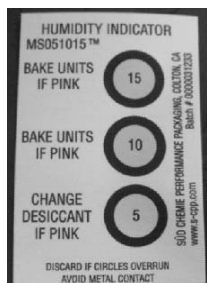


图 2.25 10%RH 点为蓝色

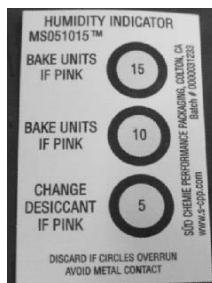


图 2.26 5%RH 点为粉红色而且 10%RH 点不为蓝色

表 2.7 不同封装不同 MS 等级的 MSD 的烘烤时间要求

(车间寿命从烘烤后 0 时刻起重新开始计时)

| 器件封装 厚度 (mm) | 等 级 | 烘烤温度 (125°C) (小时) | | 烘烤温度 (40°C) $\leq 5\%\text{RH}$ (天) | |
|-----------------|-----|-------------------------------------|--------------------------|---|--------------------------|
| | | 超过车间寿命 $> 72\text{h}$ | 超过车间寿命 $\leq 72\text{h}$ | 超过车间寿命 $> 72\text{h}$ | 超过车间寿命 $\leq 72\text{h}$ |
| ≤ 1.4 | 2 | 5 | 3 | 8 | 5 |
| | 2a | 7 | 5 | 9 | 7 |
| | 3 | 9 | 7 | 13 | 9 |
| | 4 | 11 | 7 | 15 | 9 |
| | 5 | 12 | 7 | 17 | 10 |
| | 5a | 16 | 10 | 22 | 10 |



续表

| 器件封装 厚度 (mm) | 等 级 | 烘烤温度 (125℃) (小时) | | 烘烤温度 (40℃) ≤5%RH (天) | |
|--|-----|------------------|------------|----------------------|------------|
| | | 超过车间寿命>72h | 超过车间寿命≤72h | 超过车间寿命>72h | 超过车间寿命≤72h |
| ≤2.0 | 2 | 18 | 15 | 25 | 20 |
| | 2a | 21 | 16 | 29 | 23 |
| | 3 | 27 | 17 | 37 | 28 |
| | 4 | 34 | 20 | 47 | 35 |
| | 5 | 40 | 25 | 57 | 35 |
| | 5a | 48 | 40 | 79 | 56 |
| ≤4.0 | 2 | 48 | 48 | 79 | 67 |
| | 2a | 48 | 48 | 79 | 67 |
| | 3 | 48 | 48 | 79 | 67 |
| | 4 | 48 | 48 | 79 | 67 |
| | 5 | 48 | 48 | 79 | 67 |
| | 5a | 48 | 48 | 79 | 67 |
| BGA 封装 >17mm× 17mm 或任 何堆叠芯 片封装 | 2~6 | 96 | | | |

芯片烘烤箱分为低温烘烤箱和高温烘烤箱两类,正常工作时的烘烤温度为 40℃和 125℃。

烘烤干燥后应立即装入 MBB 中并封口,在 MBB 上应贴包含有物料代码、封口时间、烘烤时间、烘烤温度、烘烤次数等信息的记录标签,标签格式如表 2.8 所示。

表 2.8 烘烤记录表

| | | | |
|--------|--|----------|--|
| 代 码 | | 型 号 | |
| 潮湿敏感等级 | | 烘烤温度 | |
| 烘烤时间 | | 封口时间 | |
| 数量 | | 第_____烘烤 | |
| 入库时间 | | 生产批次 | |
| 备注: | | | |

HIC 从 MMB 中取出后应立即读数。在 23℃±5℃条件下可获得最精确的读数。

后续的应用情况与存储时间无关。

3. 配料、发料管理

(1) 配料

要建立合理的 MSD 生产配送补给系统,确保所有 MSD 都将在规定的时间限制内组装完毕。合适的材料补给可以有效地减小储藏、备料、生产期间的暴露时间。

如果一批元器件中部分已使用,剩下的元器件在打开包装 1 小时内必须重新封口或是放入小于 10%RH 的干燥箱中。若暴露时间超过 1 小时,应按表 2.9 所示规定进行处理。



表 2.9 干燥包装要求

| 等级 | 袋装前干燥 | MBB | 干燥剂 | MSID 标签 | 警告标签 |
|-------|-------|-----|-----|---------|----------------------|
| 1 | 可选 | 可选 | 可选 | 不要求 | 在 220℃ 和 235℃ 分级时做要求 |
| 2 | 可选 | 要求 | 要求 | 要求 | 要求 |
| 2a~5a | 要求 | 要求 | 要求 | 要求 | 要求 |
| 6 | 可选 | 可选 | 可选 | 要求 | 要求 |

注：MSID 潮湿敏感度鉴定标签。

(2) 发料 - 备料刚好数量

- 遵循最短暴露时间的原则，应尽可能采用少量发放 MSD 的方法，准备的数量刚好够 8 小时的装配量。
- 应当确保发料时 MSD 为真空干燥包装，不允许直接发放 MSD 散料（没有真空包装条件时也可以使用移动干燥箱进行发料，简易的干燥箱可由防静电密封箱+干燥剂的方式组成）。
- 若有分包或其他拆包操作，MSD 暴露时间记入暴露时间标签。
- 超量发料，势必造成部分 MSD 在规定的时间内未装配完，这必然造成 MSD 必须手工从塑料托盘中移进移出。这种操作将增加 MSD 的机械或 ESD 损坏的危险性，对产品质量和成本等产生极坏的影响。

4. MSD 组装过程管理

(1) 对 MSD 进行工艺跟踪

MSD 要适当地分类、标记和封装在干燥的袋子中待用，一旦袋子打开，每个元器件都必须在一个规定的时间内装配和焊接完。要求对每一卷或每一盘 MSD 的累积暴露时间，都应进行工艺跟踪，直到所有 MSD 都在车间寿命期内完成了全部组装过程。

(2) 手工记录时间

为了跟踪暴露时间，要求生产操作员手工记录进入和移出干燥室或干燥袋的日期与时间（可能多次），如图 2.27 所示。其目的就是为了准确地计算干燥储存所需的时间。



图 2.27 时间标签



(3) 根据车间环境情况适时调整 MSD 的车间寿命

MSD 自 MBB 中取出后,如果车间温度/湿度不满足 30°C / 60%RH 条件要求时,可以按表 2.4 列出的湿度范围和温度条件要求,适时增减车间寿命作为补偿。

(4) 干燥处理

① 任何 MSD 在车间寿命限定时间之前还有未组装完的,就应通过充分的干燥程序将 MSD 重新恢复到干燥储存状态。MSD 原包装警告标签上给出了用户在自己场所重新烘烤器件的条件。当原包装警告标签上无具体烘烤操作说明或警告标签丢失时,则可按表 2.7 给出的条件,用户在自己场所重新烘烤器件。

② 工艺过程中对已干燥过的 MSD,在不超过 30°C / 60%RH 的车间环境中,若暴露时间大于 8 小时,则应适当地进行室温干燥,最小干燥时间为暴露时间的 5 倍。干燥完毕后重新设置车间寿命的计时。

③ 如果车间寿命或温度/湿度条件超出范围,在再流焊接或重新进行安全存储前,MSD 必须按照表 2.7 要求进行干燥处理。

④ 对焊接可靠性的影响如下。

- 氧化风险:烘烤 MSD 时可能会引起引脚表面氧化或过量的金属间化合物的生成,从而在板级组装过程中造成焊接可靠性问题。因此,MSD 烘烤温度和时间将受到可靠性要求的制约。除非供应商额外指明,否则元器件烘烤应在一个烘烤周期内一次完成。如果需要超过一个烘烤周期,应咨询供应商。不要将元器件存储在烘焙温度下的烘烤箱中。
- 载体除湿风险:MSD 载体材料在除湿过程中,应确保不超出干燥烘烤的安全范围,以避免可靠性可能受到影响。

5. 退料管理

(1) 退料

退料时,已经装载在贴装机器上的 MSD 必须取下来,连同托盘和盘带一起返回库房,供以后继续使用。MSD 所有的标识数据及对应的出库时间跟踪记录,应完整地原来的标签上转移过来并随 MSD 一起保存。退回重新储存的 MSD 散料,必须把暴露的时间也计算到干燥储存的时间里去,并根据出库时间跟踪记录优先出库。

(2) 每一件东西都进行烘焙

另一种较简单的管理方法是:有系统地烘焙所有生产后剩下的装有 MSD 的托盘和卷盘。对此,IPC/JEDEC 标准做如下规定。

① 高温载体。

对包装在高温载体(如高温托盘)中的 MSD,可在载体中进行 125°C 烘烤,烘烤时间为 48 小时。

② 低温载体。

包装在低温载体(如料盒、托盘、带卷)中的 MSD,当烘烤温度高于 40°C 时,不能在



载体内直接烘烤。如果要求在较高的温度中烘烤,元器件应从低温载体中取出,转入对高温安全的载体中烘烤,烘烤完毕后再重新装入低温载体。而对在卷盘和低温托盘上的 MSD 必须以 40℃ 烘烤 68 天。

注意,手工操作会增加机械和 ESD 损伤的危险。

③ 纸及塑料容器制品。

纸及塑料容器制品,如纸板箱、气泡膜包装、塑料包裹等,烘烤前应把载体外面的这类物品去掉。塑料管上缠绕的橡皮带及塑料托盘上的捆绑带在高温(125℃)烘烤前也必须取下。

④ 烘烤时间。

烘烤时间从所有 MSD 均达到指定温度时开始起算。

⑤ ESD 保护。

当元器件在低湿度(干燥)环境下烘烤后,用真空吸针手工处理时,应进行适当的 ESD 防护处理。

(3) 重新干燥包装

分类为 2a~5a 级别的 MSD 在封入 MBB 前,应按表 2.9 要求重新进行干燥包装。介于干燥与封口之间的时间必须不超过 MET 下限时间。如果供应商提供的实际 MET 大于默认值 24 小时,则应采用实际时间。

注意,如果托盘、料管或带卷等材料没有烘烤就放入袋中,包含在这些材料中的附加湿气也要被吸收。

2.3.5 焊接

1. 再流焊接

(1) 温度

在再流焊接过程中,MSD 元器件体温度不得超过标注在警告标签上的设定值,否则将直接影响元器件焊接的可靠性。

(2) 温度曲线参数

在再流焊接过程中,虽然体温度在再流焊接中是最关键的参数,但其他参数,如高温中总的暴露时间和加热速率,也影响 MSD 焊接的可靠性,因此,均必须妥善处理。

有 MSD 的单板,温度升高速率在工艺允许的范围应采用较小值,具体设置见现场工艺卡。较小的温度升高速率对 MSD 产生的影响较小。

在再流焊接过程中,MSD 元器件体最高温度不得超过标注在警告标签上的温度值或供应商提供的最高温度。特殊情况下,峰值温度高于最高警告温度时,应与供应商确认是否对产品造成危害(若警示标志上峰值温度缺失或无法辨认,见近旁的条形码标签或与供应商确认)。



(3) 多次再流焊接

如果进行了一个以上的多次再流焊接过程,必须小心确保在最后一道再流焊接前的所有 MSD,无论是贴装的还是不贴装的,都不能超过它们的车间寿命。

每个 MSD 最多只能经受 3 次再流焊接工序。如果因为某种原因需要超过 3 次,应向供应商咨询。

(4) 再流焊接温度标识

若需使用 235℃ 的高温再流焊接等级为 1 级的 MSD 时,在警告标签上必须注明再流焊接温度,警告标签应贴在 MBB 上或最外层运输箱上。在 220℃ 温度下再流焊接的 MSD 不需要任何与潮湿相关的标签。

注意如下两点。

① 元器件体温度可能与引脚或焊球间温度差别很大,特别是在 IR 和 IR/热风再流焊接过程中,所以必须分开测量。

② 一些热风焊接工艺可能要求 MSD 元器件体加热温度高过 220℃,如果超过了分类温度,则潮湿预警或时间-温度限制要求可能会超出本规范规定范围,此时应咨询供应商。

(5) 第 6 级 MSD

划分为第 6 级的 MSD 必须在线生产前烘烤干燥,然后在标签指定的限制时间内完成再流焊接。若没能在限定时间内完成烘烤,未使用的 MSD 需再次烘烤,总计烘烤次数不得超过 3 次。

2. 返修

(1) 返修过程中 MSD 的管理

在打开 MBB 后,MBB 中所有元器件均应在标注的车间寿命前,完成包括返修在内的所有高温再流焊接过程。

若余下不能焊完的 MSD 应再次封入 MBB 中或存入干燥橱中。

(2) 板级返修

- 若要将元器件从 PCB 板上取下,推荐使用局部加热方法,所有表面贴装器件的最大体温度不要超出 200℃,以确保与 MSD 相关的元器件的损伤降到最低。
- 如果元器件温度超过 200℃,可要求 PCBA 在返修前烘烤。
- 元器件温度应在元器件体的顶部中心测量。
- 如果取下的元器件再次使用时,建议在进行再贴装前将其烘烤干燥。替换的元器件应在规定的车间寿命内替换完毕。
- 推荐采用局部加热再流焊进行返修替换,这样整块 PCBA 就不必再次经历再流焊接温度的影响。



注意：当邻近元器件上的温度高于 183°C 时，可能会引起某些焊点局部回流，从而导致潜在的焊点可靠性问题。

2.4 静电敏感元器件验收、储存、配送、预加工、装焊工艺过程防护操作应知

2.4.1 名词定义

① 静电释放 (ESD)：一种由静电电源产生的电能进入电子组件后迅速放电的现象。当电能与 SSD 接触或接近时会对元器件造成损伤，如图 2.28 和图 2.29 所示。

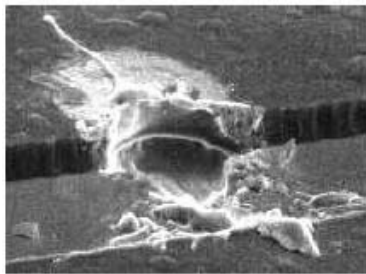


图 2.28 静电损伤之一

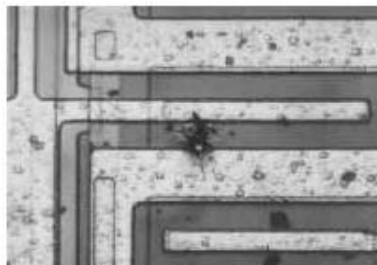


图 2.29 静电损伤之二

② 电气过载 (EOS)：某些额外出现的电能导致元器件损害。这些损害的来源有很多，如生产设备或所使用的工具，电烙铁、吸锡器、测试仪器或操作其他电子设备时产生的 ESD 或尖峰电脉冲等。

③ 静电失效：SSD 会因不正确的操作或处理而失效或发生器件性能的改变称静电失效，这种失效可分为即时和延时两种。即时失效可以重新测试、修理或报废；而延时失效的结果却严重得多，即使产品已经通过了所有的检验和测试，仍有可能在送到用户后失效。

④ 静电敏感元器件 (SSD)：在日常操作、储存、传递和测试过程中，容易因静电放电而引起损伤的元器件的统称。元器件对 ESD 的敏感程度取决于其材料和构成。元器件越小，运算速度越快，也就越为敏感。

⑤ 静电敏感度：器件对静电放电的承受能力，通常用静电放电敏感度来表示。静电敏感度反映了器件所能承受的、尚不致遭受破坏的最大静电放电电压。

⑥ 静电防护区 (EPA)：配备有各种防静电设备和器材、能限制静电电位、具有确定边界和专门标记的适于从事静电防护操作的场所。

⑦ 防静电工作台：能防止在操作过程产生尖峰脉冲和静电释放造成对 SSD 损害的工作台面。

⑧ 静电屏蔽材料：一种可以防止 ESD 穿透包装而进入 SSD 引起损害的材料。

⑨ 抗静电材料：能限制静电荷发生；耗散静电荷的材料。它通常用作 SSD 的中转包装或暂存使用。但它不能阻挡 ESD 的穿透。

⑩ 静电耗散材料：具有足够强的传导性，能使电荷通过其表面消散的材料。

2.4.2 静电警告标识

警告标识可张贴、悬挂、安放于厂房、设备、组件和包装上，用以提醒人员注意操作时造成的静电释放或电气过载损害的可能性。

警告标识分 ESD 敏感符号和 ESD 防护符号，如图 2.30 和图 2.31 所示。



图 2.30 ESD 敏感符号



图 2.31 ESD 防护符号

上述标识用于标识对 ESD 敏感或具有防护功能的设备、组件或容器，以对其进行相应的处理。

2.4.3 SSD敏感度分级和分类

1. SSD 敏感度分级

静电敏感元器件必须采用防静电包装，并带有静电敏感警示标签，标明静电敏感等级。

描述电子元器件静电敏感度特性的 3 个不同的模型是人体放电模型（HBM）、机器模型（MM）和带电器件模型（CDM）。

目前最常用的静电敏感度等级划分模型是 HBM 模型，参考 IEC 61340-3-1 标准、ANSI/ESDA/JEDEC JS-001-2012 标准，详见表 2.10。

表 2.10 静电敏感等级划分

| 等级（Class） | 耐静电电压（HBM Voltage range） |
|-----------|--------------------------|
| 0A | <125V |
| 0B | 125~250V |
| 1A | 250~500V |
| 1B | 500~1000V |
| 1C | 1000~2000V |
| 2 | 2000~4000V |
| 3A | 4000~8000V |
| 3B | ≥8000V |

若某器件静电敏感度等级为 HBM Class 1B，则表示其耐受的最大的 HBM 静电压不超过 1000V，静电压大于或等于 1000V 将可能导致器件静电失效。



材料静电敏感等级划分至少应包括 HBM 模型的静电敏感度等级划分。如果有需要,还应包括 MM、CDM 等其他模型的静电敏感度等级。

2. SSD 的要求

(1) 材料选型的静电等级要求

研发及材料选型中,器件静电敏感度等级应控制在 HBM Class 1B (500~1000V) 及以上。不推荐选用静电敏感度 HBM Class 1A (250~500V) 的静电敏感元器件。

限制选用静电敏感度 HBM Class 0A (0~250V) 的特静电敏感元器件。若经过评估,不得不选用 Class 0A (0~250V) 特敏感元器件,如微波器件、光器件,应由选型部门组织决策后,通过制定特殊防静电应对措施及管控方案,提高防静电管理要求。包括但不限于以下措施:建立专区或专线生产、提高环境相对湿度控制标准至 40%以上、站立作业佩戴防静电手腕带、配置离子化静电消除设备(悬挂式多头离子风机)等,并由各生产部门 ESD 接口人组织拟订相应的特殊作业指导文件。

(2) 产品的设计要求

产品设计应实现防静电设计,以保证制造过程质量和产品可靠性,研发应提供相应的测试评估报告。

参考 GJB 1649 电子产品防静电放电控制大纲,单板组件、整机设备的抗静电能力(未做特殊说明,均指 HBM 模型):

- 单板组件抗静电能力大于 2000V;
- 整机设备抗静电能力大于 4000V;
- 参考 YD/T 1182 2.5Gb/s DWDM 用特定波长光发射模块技术条件,光模块抗静电能力;
- 光模块抗静电能力大于 500V。

2.4.4 SSD 的入库储存和配送、操作过程管理

1. 入库验收

(1) 外观检查

入库验收过程中防静电的基本要求如下所述。

① 识别防静电标签、标志。

通常 SSD 生产厂或进口的静电敏感物资,在其包装上均贴有印成橘黄色的专用标签,如图 2.32 所示。未贴有专用静电警告标签和标志的,原则上应予拒收,如图 2.33 所示。

② 检查包装。

SSD 入库时应用防静电盒(金属盒、金属隔离器皿、透明防静电硬塑料管、防静电塑料盒等)包装,或将 SSD 引出脚插在防静电塑料海绵上,或用银裸铜线把引脚绕起来,使其处于等电位,如图 2.34 所示,否则应予以拒收,如图 2.35 所示。



图 2.32 贴有 SSD 标签



图 2.33 没有贴 SSD 标签



图 2.34 SSD 引出脚插在防静电塑料海绵上



图 2.35 SSD 引出脚没有插在防静电塑料海绵上

检查过程中 SSD 的包装不能随意改变。

(2) 清点

管理人员在清点数量时应用目测方法在 SSD 的原包装内清点数量（可以打开防护容器的盖子），但不得用手触摸 SSD。若必须取出 SSD 清点时，应将整块防护包装取出，禁止将 SSD 和防护包装分开后清点，更不得打开 SSDs 的小包装。

(3) 搬运

SSD 在搬运过程中不得掉落地下，不得任意脱离包装。

(4) 测试和老练

① 在某些需要加固的高可靠性电子装备的生产中，对 SSD 进行测试、老练和筛选中，必须在 ESD 防护区内进行。

② 测试 SSD 时，人体应先放电，手持 SSD 元器件的两端，如图 2.36 所示。严禁人手触及引脚端（特别是悬空的输入端）如图 2.37 所示。



图 2.36 正确



图 2.37 错误

③ 在操作前，需要仔细测试工具和设备，保证它们不产生破坏性能量，包括尖峰脉冲。通常小于 0.5V 的电压和脉冲是可以接受的。如果要使用大量的高敏感度 SSD，则测试仪器等不能产生大于 0.3V 的脉冲。

④ 测试时应从包装盒中取一块，测一块，放一块，禁止堆在桌面上。



⑤ 测试时，不能带电插拔 SSD。

⑥ 测试时严格遵守加电顺序，即按低电压→高电压→信号电压顺序进行，去电顺序与之相反。若信号源和 SSD 不共用一组电源时，应先开 SSD 电源，然后开信号电源。

(5) 储存

① SSD 的存储区应是防静电工作区（EPA），即能限制静电电压水平达到在该区域内接受操作的最敏感 SSD 的损坏电压阈值以下。

② 放有散料的区域内，相对湿度应为 45%~75%RH。

③ 在 ESD 防护罩或包装内运送 SSDs 进出储存区，无防护包装的 SSDs 应拒收。

④ SSD 储放过程中应保持原包装，若需更换包装时，要使用具有防静电性能的专用容器，不得使用普通塑料袋和塑料盒等容器，不得随意倒入抽屉、柜子里。

⑤ SSDs 的品种规格不得混杂在一起。经老练筛选测试和未经老练筛选测试的 SSD 要严格分开存放。

⑥ 在 SSDs 储放库，应在存放 SSDs 容器的可视位置上，贴上防静电专用标签。

⑦ 确保从储存区发出的所有包有 SSDs 的齐套件，均带有 ESD 敏感符号和警示标签。

⑧ 所有齐套文件上均应标明“ESDs”产品字样。

⑨ SSDs 库房工作人员应经过防静电培训，并取得相应的合格证书。

2. 配送

SSDs 配送过程包括收、发、领、退料等。配送中工作人员应严格遵守下列规定。

① 配送过程必须在 ESD 防护区进行。

② 操作人员应用目测方法在 SSDs 的原包装内清点数字（可以打开防护容器的盖子），不得用手触摸 SSD，若必须取出 SSD 清点时，应将整块防护包装取出，禁止将 SSD 和防护包装分开后清点。

③ 所有操作必须在静电防护工作台上进行，禁止将 SSD 放在没有静电防护措施的工作台面上作业。

④ 尽可能按原包装配料。当缺数、补数需分散包装时，应采用防静电包装容器。

⑤ SSD 的领、发、收料的全过程，均应在防静电包装容器的交换中进行。

⑥ 配、发、领料人员应根据设计（或工艺）文件，按防静电要求进行作业。在开具领料单时，也应在该类 SSD 型号的醒目位置处加盖警告符号。

⑦ 凡掉落在地上的静电敏感 SSD 元器件不得再使用。

⑧ 料箱传送应在防静电车上进行，料车运料前必须确认接地良好，禁止在地板上直接拖动料箱。

⑨ 配、发、领料人员应熟悉 SSD 型号、品种和 ESD 常识。

3. SSD 预处理过程中的静电防护

① SSDs 的预处理，必须在具有“静电泄漏”的工艺设施环境中进行，加工设备、仪器、工作台面应接地良好，操作人员应正确佩戴腕带（手腕带应直接套在手腕皮肤上，如图 2.38



所示，不得套在衣袖布上，如图 2.39 所示。



图 2.38 正确



图 2.39 错误

② SSDs 引脚成形操作时，成形设备的外壳应可靠地接入地线上。

③ SSDs 搪锡操作时必须在锡锅可靠接地下进行，应尽量避免使用超声波搪锡机搪锡。

④ 对 EPROM 进行擦、写及信息保护操作时，应将擦/写器可靠接地，正确拾取，如图 2.40 和图 2.41 所示。



图 2.40 正确



图 2.41 错误

4. SSD 在 PCB 上插装、焊接过程中的静电防护要求

① SSD 在 PCB 上插装、焊接均应在 EPA 区内进行。

② 所用工艺装备均应直接接入地线，并采用有效的离子风机，以净化环境。

③ 传送带和自动机的托架应是导电性的，并可靠接地。

④ 往 PCB 上插装 SSDs 时，应尽可能使用 PCB 边缘连接器（即短路插头），将 PCB 的接线端短路在一起。

⑤ 操作人员在插装 SSDs 时，应持其外壳，避免直接接触及引脚，如图 2.42 和图 2.43 所示。在工作台上作业时，应注意防止 SSD 与台面发生相对运动。



图 2.42 正确



图 2.43 错误

⑥ 插装过程中，SSD 应存放在导电或静电盒内，如图 2.44 所示。尽量避免放在防静电桌面上。

⑦ 手握 PCB 组件时，应持其边端，如图 2.45 和图 2.46 所示。



图 2.44 放在静电盒内

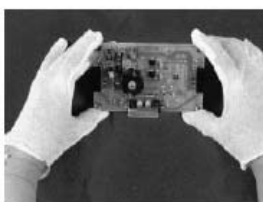


图 2.45 手持边端

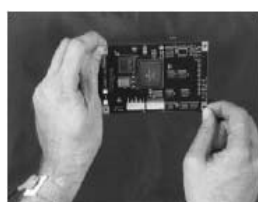


图 2.46 手持边端

⑧ 在插、装、焊工序传递过程中，应使含 SSD 的 PCB 完全处在防静电的容器（如防静电箱、防静电袋、防静电车等）中进行，如图 2.47 和图 2.48 所示。这些容器均应符合法拉第的要求。



图 2.47 接受



图 2.48 拒收

2.5 温度敏感元器件验收、储存、配送、预加工、装焊工艺过程防护应知

2.5.1 名词定义

温度敏感元器件：广义上讲凡是性能随温度的剧变而劣化，甚至损坏的元器件统称为温度敏感元器件，以下均简称温敏元器件，本章所指的温敏元器件是泛指在再流焊接、波峰焊接和手工焊接过程中，易因过热而导致损坏或性能劣化的所有元器件。

2.5.2 温敏元器件损坏模式

温敏元器件常见的损坏模式如下所述。

- ① 热击穿：例如，半导体器件中的 PN 结，由于温度的升高，载流子数量剧增，动量加大，势垒层变薄，而造成 PN 结击穿。
- ② 磁性能劣化：例如，一些磁性元器件（如磁传感器、磁性开关等）因温度剧变而导致磁性能劣化。
- ③ 机械失效：例如，面阵列封装器件 BGA、CSP 等。在再流焊接过程中因预热时间过长，或再流温度过高而导致焊球与芯片焊盘间脆性的合金层过厚而造成失效。
- ④ 元器件体龟裂：例如，以陶瓷为基体的元器件，在温度发生剧变或热冲击时，因陶瓷龟裂而导致元器件失效。



2.5.3 常见的温敏元器件

- ① 电池类：电子产品中所用的各类分立电池或贴片电池等，如图 2.49 所示。
- ② 温度开关和保险丝类：例如，双金属片温度开关、PN 结温度传感器及保险丝，如图 2.50 所示。
- ③ 半导体微波器件类：如微波晶体、微波检波器等。
- ④ 元器件类：如热敏电阻、霍尔元器件、瓷片电容、光电子器件等。
- ⑤ 塑封元器件类：各种 I/O 塑封元器件，如 QFP、PBGA 等。

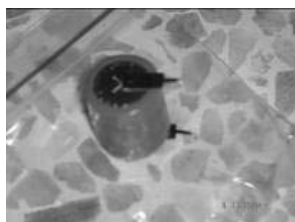


图 2.49 电池



图 2.50 温度开关

2.5.4 温敏元器件的入库、储存、配送、装焊工艺过程的特殊要求

在物流配送过程中，温敏元器件除按照本章规定的基本要求外，还应遵循以下特殊要求。

1. 入库验收

(1) 真空袋 / 外包装检查

检查警告标签上相关的温度要求标示，由于温敏元器件无统一标示，如部分来料没有标示，应及时向厂家索取。

(2) 外观验收

- 目测抽检元器件的外观应洁净，表面印字完整、清晰，无划痕和损伤。
- 引脚及可焊端面涂层应连续、有金属光泽、无变色及锈迹。
- 元器件的规格型号应与企业的物料代码手册要求一致。

2. 储存

(1) 库房管理

对一些专用的温敏元器件，如热敏电阻、光电子器件等的存放应有专用存放地点，并有明显的标识。



(2) 安全存储

安全存储是指元器件保存在一个温 / 湿度可以控制的环境中储存。温敏元器件应存储在 $25^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$, $50\% \pm 10\% \text{RH}$ 的阴凉环境内, 具体要求如下。

- 所有元器件必须保持原有的包装和标识, 每一个最小包装的盒(或袋)上应贴有相应条码。
- 货柜、货架上的元器件必须装在专用管、袋或盒中, 不得裸放。
- 元器件的发放应遵循“先进先出”的原则, 先入库的元器件先发, 后入库的元器件后发。
- 元器件库房保管员每月要定期检查库存情况, 对超出储存期的元器件应及时从元器件库中分离开, 并送质量部 IQC 重新复验。
- 对超出储存期复验合格的元器件, 由质检科 IQC 贴上“合格超期使用”的标签及复检合格证书, 一并放入原储存位继续使用。对超期使用的物品, 以后每半年复检一次。
- 对超期复检不合格的元器件, 原则上不再使用。
- 对特殊温敏元器件, 如电池等, 存储或使用时不要将金属物体与电池混放在一起, 以防意外的短路。

3. 配、发料管理

温敏元器件配送管理, 包括收、发、领料等内容。配送中工作人员应严守下列规定。

- ① 配送过程必须在洁净区进行。
- ② 操作人员在清点元器件数量时, 不准用裸露的手触摸元器件的可焊端。
- ③ 工艺文件中应标明该类器件的特殊组装方法。
- ④ 根据工艺文件要求, 该类器件应有易于识别的特殊标签(温度敏感标签), 以示区别于其他类器件, 标签注明“对焊接温度敏感”字样, 如图 2.51 所示。

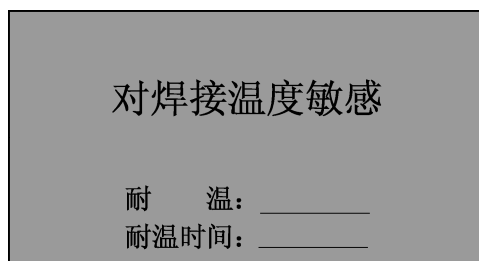


图 2.51 温度敏感标签

- ⑤ 为提醒生产线操作人员, 该类器件每一个发料包装袋都应含有温度敏感标签。

4. 温敏元器件焊接过程管理

(1) 装焊

温敏元器件进行再流焊接或波峰焊接时, 要选择好温度曲线, 特别是再流焊接时 PCB 顶面和底面之间的 ΔT (温度差) 要求最小化, 以避免过热造成热损坏。

专用温敏元器件要避免采用再流焊接, 当采用波峰焊或手工焊接时要注意采取热分流措



施，且焊接时间要尽量短。

1) 手工烙铁焊接

① 温度。

在烙铁焊接过程中，温敏元器件体温度不得超过标注在“温度敏感标签”上的要求值。

② 焊接时间。

由于温敏元器件一般对焊接时间有特定要求，焊接时必须严格按作业指导书(工艺文件)和“温度敏感标签”上注明的时间要求操作。如果二者不一致，一定不要擅自操作，首先应提请工艺人员确认无误后才能焊接。

③ 焊接方法。

大多数温敏元器件对焊接方式均有不同的要求，对专用温敏元器件手工焊接时，最好采用热分流夹(如图 2.52 所示)进行限热。

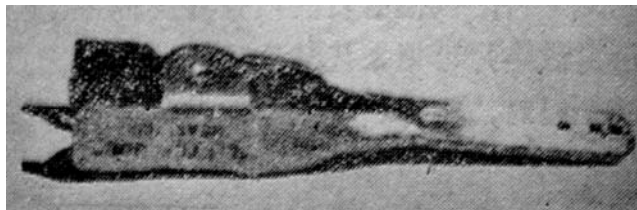


图 2.52 热分流夹

要尽量避免烙铁触碰到元器件体。

若不慎操作超出作业指导书的要求，如温度过高、焊接时间过长、烙铁触碰到元器件体等，应及时在单板焊接处做标记，并在相关表格上注明，才能流到下一工序。

2) 波峰焊接

常见工艺参数设置如下。

- 焊接温度：245℃。

- 焊接时间：2s。

有条件时，对专用温敏元器件采取热分流措施，如图 2.53 所示。



图 2.53 热分流

(2) 返修

若要将元器件从 PCB 板上取下，推荐使用局部恒温加热方法，所有表面贴装器件的最大体温度不要超出温敏元器件所能承受的耐温温度，以确保与温敏元器件相关的元器件的损伤降到最低。



5. 退料管理

退料时，连同包装袋一起返回库房，并保留温敏元器件的标识（标签），供以后继续正确使用。需要注意的是，由于元器件对温度敏感，故不得对元器件进行任何形式的烘焙。

2.6 焊料、助焊剂入库验收、储存、配送工艺应知

2.6.1 名词定义

- ① 软钎料：在钎接过程中，用来填充钎缝的熔点低于 315℃ 的合金，（以下简称焊料）。
- ② 助焊剂：一种在受热后对所施加的表面起清洁和保护作用的材料。

2.6.2 入库验收、储存、配送技术要求

1. 焊料

（1）入库验收

① 外观查验。

焊料入库前由 IQC 对来料的型号、供应商、品牌，规格尺寸、批次、使用期限进行核对。来料外观应该是洁净发亮，有金属光泽，因锈蚀原因造成的发黑或发暗应拒收。

② 查验焊料成分（需要时才进行）。

当新认证供应商或对来料的化学成分有疑问时，应及时取样送法定检验机构，按 IPC-J-STD-006《电子级固态焊料技术要求》，进行合金成分分析。对 Sn60/Pb40 或 Sn63/Pb37 焊料的纯度应符合表 2.11 规定要求，若为其他成分焊料，则依照相对应的规定要求处理。未达标的拒收。

表 2.11 锡铅焊膏允许的杂质容限（Sn60/Sn63）

| 杂 质 | 最大杂质容限（%） |
|-----|-----------|
| Cu | 0.300 |
| Au | 0.200 |
| Cd | 0.005 |
| Zn | 0.005 |
| Al | 0.006 |
| Sb | 0.500 |
| Fe | 0.020 |
| As | 0.030 |
| Bi | 0.250 |
| Ag | 0.100 |
| Ni | 0.010 |

注：铜、金、镉、锌、铝的总量不超过 0.4%。



(2) 储存

- 含铅焊膏应在无氯（Cl）气体中储存。
- 若来料包装上有储存期限要求，则按要求的期限保存。

(3) 配送

- 按产品生产的日需用量，每日配送一次，不能在生产现场过量堆积。
- 含铅焊膏配送过程中，应戴手套操作，事后应及时洗手。
- 使用过程中发生的焊料渣，含有大量的有毒重金属铅，会污染环境，因此，不得随意丢弃，应集中处理。

2. 助焊剂

(1) 筛选认证试验

① 标准和要求。

助焊剂必须符合 J-STD-004 的要求。每次筛选新助焊剂时均应按下述程序进行评估和确认。

② 测试样品。

测试样品应能代表在生产过程中用到的基材、组装材料和组装过程。用于 SIR 测试的样品上的电路应类似于 IPC-B-36 电路，且不能被阻焊层覆盖。

③ 样本数量。

针对每一种材料/流程组合至少需要 10 个样品。该数量是假设会有 10% 的缺陷（90% 的合格品）而得出的。在 IPC-TR-467 标准中有关于如何确定样品数量的全面的解释。

④ 清洁度测试。

IPC/J-STD-001B 规定以下数字代表了各类清洁度测试的内容。

- 0——不需要进行清洁度测试。
- 1——松香（树脂）残留物测试。
- 2——离子残留物测试。
- 3——表面绝缘电阻测试。
- 4——其他表面有机杂质测试。
- 5——其他测试。

⑤ 助焊剂残留物。

按 IPC-TM-650/2.3.27 测试方法进行，且残留物的含量（以 NaCl 计）不应超过以下规定。

- ◆ I 级产品： $<200\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 。
- ◆ II 级产品： $<100\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 。
- ◆ III 级产品： $<40\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 。

⑥ 离子残留物（仪器测量）。

按 IPC-TM-650 中 2.3.26 或 2.3.26.1 节的测试方法。离子残留物的含量应少于 $1.56\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 氯化钠（NaCl）当量。如果采用其他方法检测时，其灵敏度不应低于上述方法。



⑦ 离子残留物（人工测量）。

按 IPC-TM-650 中 2.3.25 节的溶剂萃取测试方法。离子残留物的含量应少于 $1.56\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 氯化钠（NaCl）当量。如果采用其他方法检测时，其灵敏度不应低于上述方法。

⑧ 表面绝缘电阻（SIR）。

推荐以下的测试方法可得知残留物的特性，以达到流程控制的目的。

- 萃取溶剂的电阻率（ROSE）：按 IPC-TM-650 中 2.3.26 或 2.3.26.1 节进行的 ROSE 测试，可以测出经过整个生产流程后的组件板的离子污染度。
- 离子色谱分析（IC）：按 IPC-TM-650 中 2.3.38 节进行的离子色谱分析测试，可以测试出离子的种类，在进行初始流程认证或产品的失效分析时特别有用。

⑨ SIR 测试后目视检查。

在所有的被元器件遮住的地方都必须把元器件去除，去除时最好采用剪脚的方法，而不能使用化学品或使用加热的方法。所有的地方需要用 10~30 倍的放大镜检查是否有腐蚀和树枝形的情况，检查树枝形情况时必须使用背光光源。

不允许有腐蚀的情况出现，树枝形不能大于两个导体间距离的 20%。

（2）入库验收

① 外观。

助焊剂应是淡黄色透明液体，不得有悬浮物，否则拒收。

② 理化指标检测。

- 定期检测：对固定供货商的产品，每季度由质量部 IQC 负责将正在使用的助焊剂抽取样品，按上述筛选确认试验的项目要求，送国家法定机构进行检验。检验结果复印分发材料技术部、工艺技术部、生产部、质量部等相关部门。
- 仲裁：当对出现较大质量问题判断有争议时，可随时按上述筛选确认试验的项目要求，送国家法定机构进行检验和仲裁。检测不达标的，则该批次应全部退货，并由 IQC 向供货方发出警告，限期改进，改进不力者取消供货资格。
- 收货与清点：进料检验合格后方可收货，收货时及以后每周的定期清点均必须完整填写《助焊剂库存登记表》。

（3）储存

① 储存环境。

由于助焊剂的易燃、易爆性，故要求保存在通风良好的化工原料专用存储区内，并配置消防器材。

② 存放。

应按不同型号，不同批次分开放置，不得堆放。

③ 有效期。

为保证产品质量，在对物料进货登记时，必须依照小包装标签上注明的有效期限进行登记。如果出现有超期的助焊剂，必须立即退货。



(4) 配送

按每 4 小时的消耗量,每隔 4 小时向生产线配送一次,严禁在生产现场有成桶的助焊剂放置。

(5) 安全事项

助焊剂是一种稍具毒性、易燃、易爆的化工材料,在使用时应特别注意其安全要求。

- 严格按照工艺文件和助焊剂供应商相关规定操作。
- 领用必须由专人负责。
- 配送过程可能要接触助焊剂时必须戴橡胶手套。
- 完成操作后必须用洗手液洗手。
- 过期助焊剂经确认后应报废,并由材料技术部通知供应商回收,任何人不得任意处理。

2.7 电子装联用焊膏验收、储存、配送、使用工艺应知

2.7.1 名词定义

焊膏是一种均质混合物,是由一定比例的焊料合金金属粉、糊状助焊剂和一些添加剂混合而成的具有一定黏性和良好触变性的膏状体。在常温下,焊膏可将电子元器件粘贴在既定位置,当被加热到一定温度时随着溶剂和部分添加剂的挥发、合金粉的熔化,而使被焊元器件端子和焊盘连在一起,形成永久的连接焊点。

2.7.2 焊膏的采购、验收、储存、配送及使用中的管理

1. 对焊膏管理的描述

焊膏的储存和处理在表面贴装生产中对于减少缺陷和过程变量已经越来越重要。但是焊膏随后的储存与处理可能对其性能具有很大的影响。焊膏是一种容易变质的产品,监测和控制其储存寿命是非常重要的。焊膏分配链由许多元素组成,从焊膏制造商到印刷操作工的过程中,这些元素对控制焊膏所暴露的时间与温度都起作用。因此,控制这个链是一个重要的任务。把对焊膏分配链的每一个元素的控制转换成对每个焊膏存储容器的实际控制,这样的模式可能是一个较优的过程控制方案。

2. 采购原则

必须依据生产需求,适时、适量购入焊膏,一般库存量以一周至两周为宜。

3. 入库验收

- ① 焊膏入库前由 IQC 对来料进行验收,验收内容应包括:供应商标识、品牌、型号、



批次、有效期限、送货时的外包装状态、数量等。数据不全者拒收。

② 验收后贴上相关入库标识，注明入库时间，然后立即放入冰箱中储存。焊膏入库标识如图 2.54 所示。

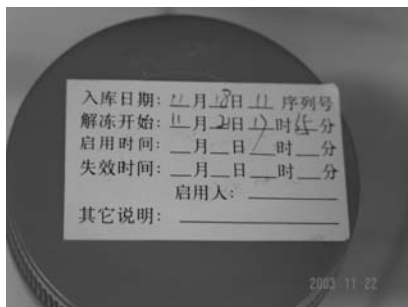


图 2.54 焊膏入库标识

4. 储存

(1) 焊膏的储存

① 由于焊膏非常容易受温度、湿度、搅拌时间、搅拌方法等许多因素的影响，因此必须严格控制焊膏的保存及使用环境参数。

② 有些 OEM 公司专门针对焊膏的控制、储存和处理，列出了一个抽样调查表(见表 2.12)，所有这些问题对焊膏的质量都是非常关键的，必须严格控制。

表 2.12 抽样调查表

| 序号 | 调查内容 |
|----|-------------------------|
| 1 | 焊膏储存在冰箱中是否遵守“先进先出”的原则 |
| 2 | 在作业指导卡中是否规定了焊膏的使用方法 |
| 3 | 在焊膏容器上有否规定焊膏冷藏失效的日期 |
| 4 | 焊膏从冷藏箱中取出的日期和时间在容器上有规定吗 |
| 5 | 焊膏可使用的日期与时间在容器上有规定吗 |
| 6 | 焊膏在室温下的失效日期和时间在容器上有规定吗 |

③ 在使用前，焊膏必须存储在冰箱（或与此要求相当的环境）中，冰箱温度设置一般为 3~7℃。

④ 冰箱的温度每天至少定期检查一次并做好记录，以保证其在出现异常时能及时被发现而不至于影响焊膏的品质。

(2) 过程中的温度控制

焊膏的温度从其制造时开始到应用于 PCB 装配的全过程，都应该得到监测与控制，以保持焊膏持续的黏性、再流特性和整体性能。表 2.13 列举了国外一些焊膏制造商，在其产品技术数据表中推荐的焊膏储存温度和每个温度下的最长时间。



表 2.13 焊膏储存和处理推荐方法的常见数据表

| 条 件 | 时 间 | 环 境 |
|-----------------|----------------|----------------------------------|
| 装运 | 4 天 | <10℃ |
| 仓储寿命（冷藏） | （3~6）个月（标签上注明） | 0~5℃（冰箱） |
| 仓储寿命（室内密封并装） | 5 天 | 温度：15~25℃ 湿度：30%~60%RH |
| 焊膏稳定时间（从冰箱中取出后） | 8 小时 | 室内 温度：15~25℃； 湿度：30%~60%RH |
| 模板印刷时寿命 | 4 小时 | 机器环境 温度：15~25℃ 湿度：30~60%RH |

有时，来自同一制造批号的不同容器中的焊膏使用时表现会不同，这可能是运输期间焊膏已超过储存温度；甚至当焊膏已经储存到用户工厂的冰箱里了，也可能在某一时间段（如周末）停电造成；或者焊膏使用前在生产线上滞留的时间太长。因此，对焊膏的控制应关注控制分配链的每一个阶段，而不是焊膏本身，具体如下。

- 隔热运输容器。
- 24 小时温度监测 / 断电的电池备用。
- 工厂温度控制。
- 标记焊膏罐打开的日期与时间。
- 印刷温度控制。

在不规范的储存和使用环境中，可以肯定的是在分配链中焊膏的储存与处理会存在问题。

5. 配送

（1）发料

- 焊膏从冰箱中拿出使用时，应先贴上焊膏标签，记录其中的项目。
- “先进先出”原则。

从冰箱中取出焊膏时要求遵循先进先出原则，先到货的先使用，后到货的后使用。

（2）失效日期问题

焊膏从制造商发货出来是以储存寿命来标明失效日期的，失效日期通常是从制造之日起的 6 个月。和任何其他容易变质产品一样，实际的储存寿命取决于焊膏储存的时间与温度。

6. 焊膏的使用

（1）先进先出

焊膏使用时必须遵循先进先出的原则，即先配送的先使用。



(2) 回温（解冻）

因焊膏是储存在低温冰箱中的，如果低温下使用，会因温度升高，而吸取空气中的潮气，造成再流焊时出现炸锡而形成锡珠。因此，必须在密封状态下由低温回温至常温或使用温度。一般焊膏要求的最低回温时间为4小时。

(3) 记录和搅拌

回温时必须记录开始回温时间与可以使用时间，然后手工搅拌2~5分钟。

(4) 添加

印刷中添加焊膏时应遵循少量多次的原则，每次从冰箱中取出解冻和加到印刷钢网上的焊膏不能过多，一般以焊膏滚动时滚杆高度为10~15mm为宜，以免焊膏长时间暴露在室温环境中影响最终的焊接效果。

(5) 规范使用

根据焊膏解冻时间、在室温（密封）状态下的停留时间、开瓶后可使用时间、在钢网上可停留时间以及从印刷到PCB板上至开始过再流炉的时间等，来规范焊膏在生产线上的使用。

(6) 黏度测量

在印刷使用前，每一批次需由质检人员进行黏度测量，测量值在该种焊膏标称值 $\pm 10\%$ 为合格，检测合格后，该批次焊膏才能上线使用。如出现黏度超标，退回供应商。

(7) 回温后的使用寿命

因在常温状态下，助焊剂中的活化剂已处于活化温度下，若长时间处在活化温度下，活化剂会消耗而活化能力降低，最后失去活性，为保证有足够强的活性，回温后（未开封）必须在72小时内使用完，否则进行报废处理。

(8) 工序滞留时间

印刷好的PCB必须在2小时内贴装元器件并进行再流焊接。

7. 回收

因生产计划变化或其他原因，导致开封后焊膏8小时内没有用完，可以回收，回收时需要将焊膏瓶盖紧，记录已开封的时间，放入冰箱中储存，使用时重新回温，累计开封时间8小时内使用完，否则报废处理。钢板上的焊膏不再回收使用。



2.8 SMT贴片胶入库验收、储存、配送工艺应知

2.8.1 名词定义

固化：通过化学反应使贴片胶的物理特性改变。固化可以通过热的对流或传导、通过红外或紫外光辐射和在标准的温度和压力下的催化作用来完成。

2.8.2 贴片胶在生产中的作用

贴片胶在电子组装中的主要用途是：在波峰焊接过程中把元器件保持在 PCB 的预定位置上，确保在焊接过程中元器件不会掉落。贴片胶在组装中适用的元器件范围，可以从 0402 的电阻器和电容器，到更大的 IC 器件。

2.8.3 贴片胶使用性能要求

良好的贴片胶的特征包括固化强度、一致性、高的胶点轮廓、抗溶剂性和环保安全性等。

（1）固化强度

贴片胶的固化强度一定要能足够承受波峰焊接以前的传递和加工工序（如贴片）所可能形成的加速度，并能保持在波峰焊接过程中元器件的附着力。

（2）一致性

滴出或刮出的胶点粗细、高低均能保持一致或近似。

（3）高的胶点轮廓

滴胶或刮胶形成的胶点应有一定的高度要求，以使元器件的底部有一个合理的表面区域来附着。

（4）抗溶剂性

能承受波峰焊接过程中助焊剂中的各种活性物质及其溶剂的作用，而不影响其黏着力和固化强度。

（5）环保安全性

胶片固化在储存和使用过程中，不会破坏环境。



2.8.4 入库验收、储存、配送管理

(1) 采购要求

必须依据生产需求,适时、适量购入胶水,一般库存量以1个月为宜。

(2) 入库验收

① 每批来料必须由 IQC 进行验收,验收的内容应包括:标牌清晰,品种、型号、生产日期和黏度指标明确;胶体黏度均匀、细腻、无异物、无粗粒,颜色明亮,易于辨别。

② 外包装箱的材质(不能使用硅、硫黄复合物、聚硫物或包含这些物质的材料制成)和完整性。

验收合格方可接受入库,否则拒收。

(3) 储存

① 标识。

在入库标识上填写好入库时间,如图 2.55 所示。然后将入库标识粘贴在储存瓶(罐)上,再将其放置冷藏箱中储存。

| |
|-----------------------|
| 入库日期: __年__月__日__序列号 |
| 解冻开始: __年__月__日__时__分 |
| 启用时间: __年__月__日__时__分 |
| 失效时间: __年__月__日__时__分 |
| 启用人: _____ |
| 其他说明: _____ |

图 2.55 入库标识

② 储存。

- 胶水必须存储在冰箱(或与此要求相当的环境)中,冰箱的温度设置一般为 0~10℃。
- 冰箱的温度每天至少定期检查一次并做好记录,以保证其在出现异常时能及时被发现而不至于影响胶水的品质。
- 储存期: 6 个月。

(4) 配送

① 发料。

- 发料要遵循先进先出原则,先进的料先发。
- 寿命终止期近的优先原则:即对库存中寿命快近终止期的先发。
- 从冷藏箱中取出后,在瓶体的入库标识上填写开始解冻的时间,填好“贴片胶水使用记录表”。通常从冷藏箱拿出放在室温下解冻至少 8 小时后方可投入使用。

② 配送上线。

遵循少量多次配送的原则,每次配送上线的配送量,以满足生产线 2 小时的用量为宜,不可过多,以免贴片胶在生产线上过量堆集。

(5) 使用

① 复查保质期。

操作者使用前应检查是否过保质期,并在标识上填好启用时间。

② 分装。



- 若胶水为 300ml 的大包装，在分装时需将 300ml 胶管先回温，回温时间控制在 8~12 小时，然后用分装头让胶从机器用点胶针管的小头进入，由下往上分装，分装量为 2/3~3/4 针管左右。
- 建议一次分完一支 300ml 包装，装完后需将针筒小头朝外在转速为 1500~2000r/m 的条件下，离心抛甩 10~15 分钟；
- 大管胶水灌装进注射胶管时不能灌装太满，应在容积的 2/3 以内。
- ③ 回温（解冻）。
- 取出胶水后，胶水应在室温和密闭状态下回温 8 小时以上方可使用。
- ④ 车间寿命。
- 施过胶的 PCB 应在 2 小时内完成贴片和固化工序，以保证胶点的固化效果。
- 解冻启用后在室温（20~25℃）下的失效期为 48 小时。
- ⑤ 退库。
- 回温后的贴片胶若未使用完，可退回仓库重新放回冰箱保存，放回冰箱中的胶水要重新加贴入库标识，入库时间填写仍为原 300ml 胶水的入库时间，原入库标识继续保留。
- 再次使用时，需重新回温，回温/冷藏重复次数不应超过两次。
- 不允许回收模板上的胶水。

（6）报废

胶水超过使用有效期或受污染导致有明显的质量问题时，经专业主管工艺工程师和主管质量工程师确认后，予以报废。

2.9 UNDERFILL胶、清洗剂、导热胶入库、验收、储存、配送工艺应知

2.9.1 名词定义

- ① 解冻：将物料由低温储存状态恢复到常温或使用温度状态的过程称解冻或回温。
- ② 导热胶：一种同时具备导热能力和粘接强度的化学混合物。

2.9.2 常用辅料入库、储存及配送工艺要求

1. UNDERFILL 胶水

（1）入库验收

UNDERFILL 入库前应由 IQC 对来料进行验收，检查项目包括厂商标识、品牌、型号、生产批号、使用期限、外包装箱是否完好、数量是否正确。符合要求则接受入库，否则拒收



退货。

(2) 储存

对入库物料应认真填写入库日期、解冻时刻、启用时间、失效时间等标识,如图 2.56 所示。标识应粘贴在包装瓶或罐的外表上。填写《UNDERFILL 胶水储存记录表》,并按进货时间顺序分开存放。

胶水必须储存在冷藏箱里,冷藏箱温度应保持在 0~10℃,储存期为 6 个月;使用前应检查保质期。

冷藏箱的温度每天至少定期检查一次并做好记录,以保证其在出现异常时能及时被发现而不至于影响胶水的品质。

定期清库,及时将超过保存期的材料进行报废处理。

| |
|-----------------------|
| 入库日期: __年__月__日__序列号 |
| 解冻时刻: __年__月__日__时__分 |
| 启用时间: __年__月__日__时__分 |
| 失效时间: __年__月__日__时__分 |
| 启用人: _____ |
| 其他说明: _____ |

图 2.56 入库标识

(3) 配送

① 发料。

应严格执行先进先出的原则,先到货的先使用,后到货的后使用。

胶水从冷藏箱拿出使用时,应先在胶水瓶上贴上标签,分别标注解冻和失效时间。

② 失效日期问题。

胶水从制造商发货出来是以储存寿命来标明失效日期的,和任何其他容易变质产品一样,实际的储存寿命取决于焊膏储存的时间与温度。

(4) 使用

① 解冻。

UNDERFILL 胶水在使用前,从冷藏箱取出在室温下解冻至少 4 小时后方可投入使用。

启用人在胶水控制专用不干胶标签(已由入库人员填写入库信息并贴在瓶盖上)上填写启用时间。

② 使用。

胶水解冻后,应尽快使用,在室温条件下存放的时间应小于 2 天,超过 2 天仍未使用进行报废处理。

(5) 退库

由于生产计划的变更,导致已出库的但处于密封状态的胶水,尚未超过允许的室温存放期的,可以退回库房重新储存。库房保管人员应在标签上填上重新入库日期和失效期,并与原库存的分开存放。

2. 清洗剂

(1) 入库验收

入库前应由 IQC 对来料进行验收,检查的项目有:厂商标识(厂商名称、品牌、型号、生产批号和使用期限等)清楚完整;数量正确;外包装箱完好、清洁密闭、无破损泄漏;等



等。符合要求则接受入库，否则拒收退货。

(2) 储存

储存环境条件如下。

- 温度：10~35℃。
 - 湿度范围：<80%RH。
 - 应置于阴凉处储存，严禁阳光直射或高热，避免接触水和盐酸。
- 清洗剂系易燃品，要配专人管理，储存场地应通风良好，无火源，并配备消防设备。
储存期为 12 个月，使用前应检查保质期。

(3) 配送

- 发料时严格执行先进先出的原则，即先进的先使用。
- 有效期在前的先使用。

(4) 使用

- 加强定额用量管理，用多少领多少，不可在生产现场储存。
- 使用场地应通风良好，避免吸入蒸汽。
- 使用时要戴橡胶手套和相关的防护工具（如防护眼睛等），用后洗手。
- 取用后，随时封紧桶盖。
- 如有泄漏，应用吸管或干布吸起并用清水冲洗。
- 废液处理可使用清水稀释或交由相关废液处理公司。

3. 导热胶

(1) 入库验收

入库前应由 IQC 对来料进行验收，验收项目包括供应商、品牌、型号、批次、有效期限，符合要求则接受入库，否则拒收退货。

(2) 储存

① 收料。

对验收合格入库的物料，必须完整填写《使用标签》，如图 2.57 所示。标签应贴在瓶盖上。

| |
|----------------------|
| 入库日期：__年__月__日__序列号 |
| 解冻开始：__年__月__日__时__分 |
| 启用时间：__年__月__日__时__分 |
| 启用人：_____ |
| 其他说明：_____ |

图 2.57 使用标签



② 储存环境。

- 温度：0~10℃。
- 场地：冷藏罐或满足相应温度要求的室内。如果因特殊原因（运输等）短期内不能达到储存温度要求时，则必须使用铺满干冰的保温箱储存。

③ 清库。

每周定期清点，并填写《导热胶库存登记表》（见表 2.14）。

表 2.14 导热胶库存登记表

填表人：

填表日期：

| 序号 | 日期 | 供应商 | 品牌 | 型号 | 批次 | 有效期 | 数量 | 备注 |
|----|----|-----|----|----|----|-----|----|----|
| 1 | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | |

④ 有效期限。

Loctite 384：低温存放环境有效期一般为 9 个月，该时间段的计算应以供货厂商小包装标签上注明的有效期为准。若有超过使用期限的，必须立即封存，及时通知质量部、生产部、工艺部相关人员进行处理，禁止超期使用。

Loctite 7387：有效期一般是 2 年，应以供货厂商小包装标签上注明的有效期为准。若有超过使用期限的，必须立即封存，并及时通知质量部、生产部、工艺部相关人员进行处理，禁止超期使用。

（3）使用

① 发料。

- 遵守先进先出原则，先到货的先发料；
- 导热胶从冰箱取出后，应按标签要求填写解冻时间并将贴在储存罐上。

② 回温。

因导热胶是储存在冷藏箱中的，如果在低温下使用，会出现流动性能差等现象，所以必须在密封状态下由低温回温至常温或使用温度，最低回温时间为 4 小时。

③ 记录。

回温后必须记录启用时间。

④ 车间寿命。

常温下导热胶会有氧化现象产生，如长时间处在常温下，导热胶氧化增多，导致树脂的黏接力下降。为保证有足够的黏接力活性，回温后的导热胶必须在 1 个月内使用完，否则进行报废处理。

⑤ 废料处理。

导热胶是一种含有化学成分的材料，其中有些成分具有毒性，所以在报废时要特别注意。不得将使用过的储存瓶罐等任意丢弃，必须交回收部门统一处理。



2.10 生产过程物料配送工艺要求

2.10.1 名词定义

上线物料：指生产线正常运转中必需的物料（包括 PCB、元器件、相关的结构件及各种辅料等）。正确地掌握上线物料的配送，可以确保生产线正常而有序地运转；减少生产现场物料的过量堆集；减少 PCB、潮湿敏感元器件因暴露时间过长吸潮而劣化的可能性；减少静电敏感元器件和温度敏感元器件在生产现场过量暴露随机损坏的可能性。这是优化工艺过程控制和质量控制的重要手段。

2.10.2 上线物料的配送要求

1. PCB 的配送要求

（1）场地

配送前拆开 PCB 真空密封包装后，上线前的所有加工和临时储存应在专用场地内进行，场地条件应严格控制如下。

- 温度： $25^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ 。
- 湿度： $50\% \pm 10\%$ 。
- 洁净度：100 000 级。

（2）配送

① 含 OSP 涂层。

- 要求物料拆封真空包装→再流焊接完毕累计滞留时间不超过 4 小时，封闭场地允许到 8 小时。
- 配送部应遵循“小数量、多次数”的配送原则，既确保生产线正常运行，又不过量堆集，允许生产线现场有 1 小时的储备量。
- 允许配送部在上线前 1 小时在专用场地打开原真空封密包装袋进行辅助性加工（如贴条码等）。
- 物料传递过程应以料箱方式进行，若采取叠置传送时，则每叠层数不能超过 20。
- 打开密封包装后在配送部临时存放时，每叠层数不能超过 20。

② 其他涂层。

- 要求物料拆开密封包装→配送上线→焊接完毕（再流焊、波峰焊和手工焊）累计在线滞留时间不超过 24 小时，封闭场地允许到 48 小时。
- 物料传递过程最好以料箱方式进行，若采取叠置传送时，则每叠层数不能超过 20。
- 生产线工序性临时储备以 2 小时的生产节拍的需要量为宜，不可超量堆集。



- 拆开密封包装和辅助加工后未上线前，临时性储存均应在配送部专用场地内进行。
- 打开密封包装后在配送部临时存放时，每叠层数不能超过 20。

2. 潮湿敏感元器件的配送要求

(1) 潮湿敏感元器件的管理

对潮湿敏感元器件管理的基本要求，应按 2.3 节相关规定进行。

(2) 上线配送

对潮湿敏感元器件的配送应以料盘为单位，量大需多盘料时，配送部应按生产效率的大小估算，一次从干燥箱中取出对应的盘数（够生产线 2 小时的机装量为宜）。对用量小的可以一盘用到底，用不完的，退回配送部，配送部应依 2.3 节规定进行相应处理后重新放入干燥柜中储存。

不允许在生产现场有超过 2 小时备用量以上的过量堆放。

3. 静电敏感元器件的配送要求

(1) 静电敏感元器件的管理

对静电敏感元器件管理的基本要求，应按 2.4 节相关规定进行。

(2) 上线配送

静电敏感元器件应在上线前 2 小时以内，拆开包装备料。

对静电敏感元器件的配送，应按生产效率的大小估算，生产量较小时，可以一次配送完。若量产很大时，则一次配送以满足 2 小时的备用量即可，并以 2 小时为单元，实行多次限量的原则，以避免现场大量堆集，造成意外损伤。

不允许在生产现场有超过 2 小时备用量以上的过量堆放。

4. 温度敏感元器件的配送要求

(1) 温度敏感元器件的管理

对温度敏感元器件管理的基本要求，应按 2.5 节相关规定进行。

(2) 上线配送

可参照静电敏感元器件的配送模式执行。

5. 通用元器件和结构件的配送要求

对此类元器件和结构件的配送频次的确定，应以满足生产线正常运行，且又不在现场出现过量堆集为原则。



6. 易燃、易爆品的配送要求

(1) 易燃品的配送管理

助焊剂、清洗剂等属易燃品，在生产现场一律不允许存放，为确保生产线能正常运转，允许在生产车间内无人和设备的偏僻处存放一桶（20 升）的备用量。旁边应配有消防器材。

(2) 易爆品的配送管理

易爆品的配送应严格按国家有关规定执行。

2.10.3 配送通道

- ① 在组装车间，人流和物流应严格分道，并有明显标识，不得混道。
- ② 配送一律通过物流通道输送。

思 考 题

- ① 请描述物理环境条件及场地文明卫生要求。
- ② 通用元器件引线或端子镀层耐久性如何分类？
- ③ 什么叫“爆米花”现象？
- ④ 请描述潮湿敏感元器件（MSD）组装过程如何管理。
- ⑤ 如何理解静电敏感元器件（SSD）的含义？
- ⑥ 温度敏感元器件损坏模式有哪些？
- ⑦ 什么叫焊膏？焊膏如何管理？
- ⑧ 焊膏如何储存？
- ⑨ 贴片胶在生产中的作用是什么？
- ⑩ 请描述 UNDERFILL 胶水入库、储存及配送工艺要求。

第3章 现代电子装联安装技术应知



本章要点

- ❏ 电子电气组装技术要求
- ❏ 生产过程静电防护管理要求
- ❏ 元器件成型工艺规范
- ❏ PCB板组装前预加工通用工艺规范
- ❏ PCB板机械组装通用工艺规范
- ❏ PCB板插装元器件通用工艺规范
- ❏ 焊膏印刷通用工艺指南
- ❏ SMT电子元器件贴装通用工艺规范
- ❏ 面阵列器件底部填充工艺规范
- ❏ SMT贴片胶工艺规范
- ❏ PCBA组件三防工艺规范
- ❏ PCBA包装通用周转工艺规范



3.1 电子电气组装技术要求

3.1.1 名词和定义

① 焊盘：蚀刻导体的一部分，专门用作元器件引线、插头引线及互连线和蚀刻导体之间的电气连接。

② 焊点：两个导体交接面处被钎料填充的点。

③ 可焊性：适当加上助焊剂并加热，使钎料在金属表面上自由流动而实现可靠钎接的能力。

④ 润湿：熔化的钎料在金属表面上附着和流动，形成光滑、均匀的涂覆层。润湿的特征是在基体金属和钎料的衔接表面形成羽状的棱边。

⑤ 不润湿：在基体金属表面不能产生连续的钎料薄膜，不能和基体金属发生任何冶金反应，在宏观上可以明显地看到裸露的基体金属表面。

⑥ 反润湿：焊料首先润湿基体金属表面，后因润湿不好而回缩，从而在基体金属表面上留下一层很薄的钎料，同时又断断续续地有些分离，而且有很大接触角的钎料球。

⑦ 支撑孔：其内表面用电镀或其他导电材料增强（加固）的孔。

⑧ 电气间隙：非绝缘导体（如图形、材料、部件、残留物）之间的距离。

3.1.2 分级

电子产品划分为以下 3 个级别。

（1）1 级——通用类电子产品

通用类电子产品包括消费类电子产品，部分计算机及其外围设备，那些对外观要求不高而以其使用功能要求为主的产品。

（2）2 级——专用服务类电子产品

专用服务类电子产品包括通信设备、复杂商业机器，高性能、长使用寿命要求的仪器。这类产品需要持久的寿命，但不要求必须保持不间断工作，外观上也允许有缺陷。

（3）3 级——高性能电子产品

高性能电子产品包括持续运行或严格按指令运行的设备和产品。这类产品在使用中不能出现中断。适用于高保证要求，高服务要求，或者最终产品使用环境条件异常苛刻。

3.1.3 通用要求

（1）材料与过程的兼容性

材料与过程的结合生产出来的产品，必须符合本要求所规定的可接受性。这种兼容性应



在工艺文件中予以反映。当已确认的工艺要素发生改变时,如助焊剂、焊膏、清洗剂或清洗设备、焊接设备、流程变化(如印制电路板供应商、阻焊材料或金属化工艺流程发生改变),应按照一定的要求进行再确认。

(2) 员工技能

所有的工程技术人员、操作者、检查人员必须经过岗位培训和考核(含标准要求的考试和定期技能评估),凭证上岗。

3.1.4 设备和材料

1. 设备

设备和工具的选用应确保它们的使用不会造成组装件的损坏、降级。

电烙铁、焊接设备等焊接系统必须能满足温度控制精度要求,以及具备完善的电气过载(EOS)、静电释放(ESD)的能力。

2. 材料

(1) 焊料

锡-铅合金:锡-铅基合金必须符合 J-STD-006 的要求。推荐选用 Sn60/Pb40、Sn63/Pb37。

无铅合金:推荐使用 SnAgCu、SnCu 合金。

(2) 助焊剂

助焊剂必须符合 J-STD-004 的要求。若采用规定之外的其他助焊剂,则应按一定的要求进行重新测试和评估。

(3) 焊膏

① 焊膏必须满足 J-STD-005 或相关文件的要求。

② 不同行业焊膏的使用策略有所不同,以对成本较为敏感的消费电子行业为例进行说明。

- 有铅焊膏推荐使用: Sn63/Pb37、Sn62/Pb36/Ag2; 含银锡膏成本相对较高,可以使用在相对高端的产品上。
- 无铅焊膏推荐使用: Sn/3.0Ag/0.5Cu、Sn/1.0Ag/0.5Cu、Sn/0.3Ag/0.7Cu、Sn/0.1Ag/0.7Cu/0.03Co; 可以结合产品的实际情况以及客户的要求选择,出于成本考虑,在保证焊接质量和可靠性的前提下,可以使用低银焊膏。

(4) 预成型焊料

把轧制的焊料带,冲压成期望的 X-Y 尺寸,进而按要求制成不同的形状和大小,如图 3.1 所示。



考虑机器自动贴装焊料的要求，预成型焊料必须同时满足焊料和助焊剂的基本要求。

(5) 清洗材料

清洗材料必须与产品制造过程中使用的其他材料和工艺兼容，而且要满足产品的清洁度要求。

(6) 聚合涂覆

① 临时性保护：临时性保护材料不能损坏线路的完整性、可焊性、覆形涂覆层等，且要很容易去除，不能留下任何杂质及残留物。如图 3.2 所示的蓝胶涂层便是临时性保护的一种。

② 覆形涂覆和灌封：相应的装配图和文件中应规定涂覆和灌封的材料要求和技术要求。



图 3.1 预成型焊料

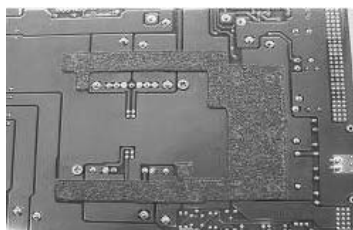


图 3.2 蓝胶涂层

(7) 调整垫片（临时性的和永久性的）

用于确保机械离地高度的垫片材料，应能承受焊接制程和焊点的清洗和检查。临时性的调整垫片在去除后不应有杂质、残留物存在。调整垫片如图 3.3 和图 3.4 所示。

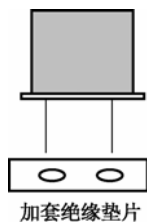


图 3.3 调整垫片

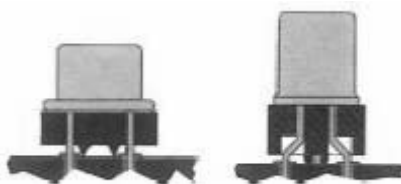


图 3.4 调整垫片

(8) 胶黏剂

用于表面组装器件固定的非导电性胶，其性能应满足 IPC-SM-817 的技术要求。

(9) 化学剥离材料

用于剥离导线绝缘层的化学溶剂（膏、乳），它的使用不能降低导线的质量等级。



3.1.5 装配件

装配件（如电子元器件、机械零部件、印制电路板等）必须与产品制造过程中所有的材料和工艺兼容。

1. 设备

接线端的线槽和接线杯，不允许随意改动来适用于过大尺寸的导线。黄铜材料的接线端应在黄铜上镀铜或镍作为屏障层，如图 3.5 所示。



图 3.5 接线端的线槽和接线杯

2. 可焊性

需要焊接的机械零件、电子元器件、导线的可焊性必须满足 J-STD-002 要求。印制电路板的可焊性必须满足 J-STD-003 要求。在入库或生产配送之前，上述零件、元器件、印制电路板等应抽样进行可焊性测试，以确保符合可焊性的要求。如果装配工艺文件中要求进行搪锡时，则可以不进行可焊性测试。

在入库或生产配送之前，陶瓷板应做可焊性测试，以确保其中的金属部分满足 IPC-HM-860 或相关文件的要求。

3. 焊料纯度维护

用于预处理、去金、元器件搪锡、波峰焊接的焊料应以一定的频度进行分析、更换或增添，以确保焊料中的杂质含量符合表 3.1 的要求。如果不是 Sn60/Pb40 或 Sn63/Pb37 焊料，则必须依照相对应的规定要求，定期对杂质含量进行分析。如果杂质超标，应及时进行调整（更换或增添）。所有的分析记录和焊料槽使用记录（开机总时间、更换的焊料量、或者生产量等）应完整归档，保存期最少为一年。

表 3.1 锡铅焊膏所允许的杂质含量（Sn60 / Sn63）^①

| 杂 质 | 最大杂质容限（%） ^② | |
|-----|------------------------|-------|
| | 预处理（导线、电线涂覆层） | 软钎焊接头 |
| Cu | 0.750 | 0.300 |
| Au | 0.500 | 0.200 |
| Cd | 0.010 | 0.005 |



续表

| 杂 质 | 最大杂质容限 (%) ② | |
|---|----------------|-------|
| | 预处理 (导线、电线涂覆层) | 软钎焊接头 |
| Zn | 0.008 | 0.005 |
| Al | 0.008 | 0.006 |
| Sb | 0.500 | 0.500 |
| Fe | 0.020 | 0.020 |
| As | 0.030 | 0.030 |
| Bi | 0.250 | 0.250 |
| Ag ^③ | 0.750 | 0.100 |
| Ni | 0.025 | 0.010 |
| 注: ① 钎料槽中锡含量的变化必须在名义含量的±1.5%范围内,其检测频率与铜/金杂质的检测频率相同。 钎料槽中锡含量的变化可用铅和表中列出的元素来平衡。 ② 铜、金、镉、锌、铝的总量不超过 0.4%。 ③ 不适用于 Sn63: 极限值为 1.75%到 2.25%。 | | |

4. 可焊性保护

在手工或机器焊接前,所有元器件、导线、接线柱和印制电路板的可焊性都应妥善保管,应该建立保护可焊性的程序。

(1) 去金

对于金层厚度至少为 2.5 μm 的穿孔器件,去金区域应至少达到焊接表面的 95%;对于所有表面贴装的区域,不管金镀层厚度为多少,去金区域应是焊接表面的 95%。可以采用双面喷锡工艺或动态焊料波去金。

如果能够提供焊点脆化与金层没有关联的有效证据,则可以取消该项要求。但有效证据必须有文件规定,以利查阅和评估。

(2) 达不到可焊性要求的元器件处理

没有满足可焊性要求的元器件引脚、可焊端等,在焊接前可以进行搪锡或其他方法处理。搪锡操作时对热敏元器件要采取散热措施。

3.1.6 清洁度要求

如果焊接之后需要清洗,元器件、部件和最终产品的清洗都应在一个最近的时间段内完成,在该时间段内各类杂质(特别是助焊剂残留物)可以被除去。

清洗方法不应対清洗区域产生有害的热冲击,也不允许清洗材料残留在元器件里面。所有的清洗区域都应满足清洁度的要求。



1. 清洁度

(1) 兼容性

清洗材料和设备应可以去除离子性和非离子性杂质,而且不能降低清洗对象(材料、元器件)的性能要求和损伤丝印标识。

(2) 焊接前清洗要求

接线柱、元器件引脚、导线和印制电路板的清洁度应能保证它们的可焊性和最终产品的清洁度要求。

(3) 焊接后清洗

助焊剂残留物最好在焊接后1小时内去除。有些助焊剂或工艺材料需要在更短的时间间隔内进行清洗。机械清洗方法和其他方法可以同清洗材料一起使用。机械清洗方法有振动清洗、喷射清洗、刷洗或蒸汽清洗等。如果手工焊接后进行了一次临时清洗,则可以延长从焊接完成到最终产品清洗之间的时间,把最后的清洗放在本批生产结束之前完成。

若密封器件对焊点进行了灌封处理,则该类器件(如热缩器件等)就可以不满足清洁度的要求。

超声波清洗,可以在以下情况采用。

- 裸板或只有接线柱、连接器而没有内部电路的印制电路板。
- 有电子元器件的印制电路板,但有充分的文件证明超声波不会对产品或元器件的机械性能和电气性能产生损害。

2. 清洁度检验

组装件应满足清洁度要求,以下方法用于评估残留颗粒、异物、助焊剂残留物和其他离子或有机杂质的数量。

(1) 人工目检

人工目检用于评估外来颗粒物质的存在,或助焊剂残留物和其他离子或有机杂质。如果人工目检作为工艺过程控制和产品改进系统的一部分,可以以抽样的方式进行。

(2) 测试

如果需要进行测试,则最后清洗完成后(覆形涂覆、灌封或进入下一级较高层次的装配之前)的印制电路组装件应进行定期的清洁度测试。这项测试应采用随机样本取样的方式进行,以确认清洗工艺的稳定性。如果出现清洁度测试不合格的情况,这一整批次就需要进行重新清洗。从上次清洁度测试合格以来的所有批次和这一批次均应进行重新测试。测试频度至少应是每班(8小时)1次,除过程控制系统数据支持频度改变的除外。



3. 焊接后清洁度要求

(1) 颗粒物质

不能有灰尘、纤维屑、溅锡、金属碎屑、导线头等异物。锡珠不能松动，大小不能违背最小的电气间隙。

(2) 助焊剂残留物和其他离子性或有机杂质

除非客户在协议中有说明，否则制造商应制定一个清洁度代码来说明清洗的方式和要进行的清洁度测试。未制定清洁度代码时，必须使用 C-22 代码以满足以下人工目检要求。

① 焊接后清洁度代码。

一个 2 位（至少）数代码表示此标准提到的所有组装件的清洁度要求。该代码以字母 C 开头后接连字线和 2 位数字或多位数字。第 1 位数字代表下面描述的清洗面。第 2 位及以后数字代表下面描述的清洁度测试要求。

② 人工目检要求。

不需要用放大镜。清洗后的表面应无肉眼可见的残留物或杂质。没有清洗的表面可以有助焊剂残留物存在。

(3) 清洗面

清洁度测试代码的第 1 位数字定义了清洗面。

- 0——没有表面清洗。
- 1——单面（波峰焊接面）要清洗。
- 2——印制电路板两面要清洗。

(4) 清洁度测试要求

清洁度测试代码的第 2 位及以后数位定义了清洁度测试的要求，以下的数字代表了各类清洁度测试的内容。

- 0——不需要进行清洁度测试。
- 1——松香（树脂）残留物测试。
- 2——离子残留物测试。
- 3——表面绝缘电阻测试。
- 4——其他表面有机杂质测试。
- 5——其他测试。

(5) 助焊剂残留物

应执行 IPC-TM-650 中 2.3.27 的测试方法，且残留物的含量不应超过以下要求。

- I 级产品：小于 $200\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 。
- II 级产品：小于 $100\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 。
- III 级产品：小于 $40\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 。



(6) 离子残留物（仪器测量）

应执行 IPC-TM-650 中 2.3.26 或 2.3.26.1 的测试方法。离子残留物的含量应少于 $1.56\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 氯化钠（NaCl）当量。如果采用其他方法检测，其灵敏度不应低于上述方法。

(7) 离子残留物（人工测量）

应执行 IPC-TM-650 中 2.3.25 的溶剂萃取测试方法，且离子残留物的含量应少于 $1.56\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 氯化钠（NaCl）当量。如果采用其他方法检测，其灵敏度不应低于上述方法。

(8) 表面绝缘电阻（SIR）

可以采用通/断的方法进行检测，但该方法应经过验证且便于评估。

(9) 其他有机杂质

应执行 IPC-TM-650 中 2.3.38 的表面有机杂质检查测试方法（室内测试）。含量不应超过客户与制造商之间确认的协议要求。

3.1.7 焊接要求

1. 可接受性要求

所有焊点都要符合相应产品等级的可接受性要求。

如果没有保证产品质量的有效证据，则要进行 100% 的焊点检查。

(1) 改善行动控制界限

如果组装件中的缺陷超出按照过程控制计划建立的控制限时，就要启动改善行动。如果没有建立起过程控制限，就以 30 000ppm 的概率作为控制界限。

(2) 概率确定

除非在过程控制计划中说明，否则在计算缺陷或过程警示的概率时，就要使用总的焊点数目。针对给定的印制电路组装件中的每一个表面贴装焊点、插装焊点和每一个接线柱上的焊点都作为一个概率从而算出总的概率数。

2. 通用组装要求

所有的产品必须满足装配图/文件规定的要求。在产品制造和装配的全过程中（如元器件和印制电路板的预加工、助焊剂涂覆、焊接过程、清洗过程等）都要保证产品的电性能和机械性能以及所有元器件和组装件的可靠性。

(1) 印制电路组装件损伤

① 印制电路板损伤。



必须杜绝以下所述的印制电路板组装缺陷。

- 起泡、毛刺或者分层，它们必然要引起导通孔之间或内层导电图形之间的短路。
- 露织物的区域减少了相邻导电图形之间的间距，违背了最小电气间隙的要求。
- 晕圈或边缘分层产生的区域未使边距大于规定边距的 50%，或者大于 2.5mm（如果对边距未做规定）。
- 连接盘与基材的接合区域边缘轮廓起翘或分离的高度大于连接盘的厚度。

② 元器件损伤。

玻璃体封装的器件上方不能有元件，这样会超出器件的性能要求限制。元器件不能有烧损现象。如果元器件的结构完整性和可靠性没有受到破坏，则细裂纹、变色、弯月部裂缝或者没有暴露器件基材和功能部位的情况都是可以接受的。

（2）标识

除非装配图/文件需要，否则不能对标识故意改变、删除或移动。附加标识（如生产工艺过程中使用的标签）不能使原始标识模糊。

（3）弯曲和扭曲

焊接后的弓曲和扭曲变形量在通孔安装板中不能超过 1.5%，表面安装板中不能超过 0.75%（见 IPC-TM-650，2.4.22）。弓曲和扭曲不能在焊接过程中或使用过程中造成元器件损坏。

（4）焊点

可接受的焊点必须是在钎料与待焊表面形成一个小于 90° 的接触角，且表现了良好的润湿性。当钎料量过多导致蔓延出焊盘或阻焊层的轮廓时除外，如图 3.6 所示情况 C 和情况 D。光滑表面的焊点是可以接受的。

有些成分的钎锡合金、引脚或印制电路板贴装和特殊的焊接过程（如厚大印制电路板的慢冷却等）可能产生干枯粗糙、灰暗或颗粒状外观的焊点，这些焊点是原料或过程正常形成的，是可以接受的。

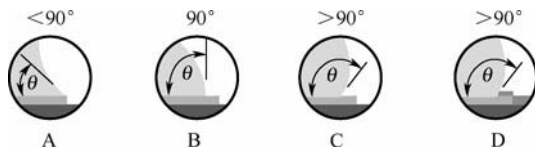


图 3.6 焊点润湿角

从焊盘到连接表面或器件引脚之间应有明显的平滑过渡。在确保润湿的情况下，焊料与阻焊膜、焊料面或其他表面材料之间如果有一条界线或过渡区，这种情况是可以接受的。对双面开窗的导通孔，如果孔壁和器件的引脚都充分润湿了，孔的焊环上可以不需要焊料覆盖，如图 3.7 所示。

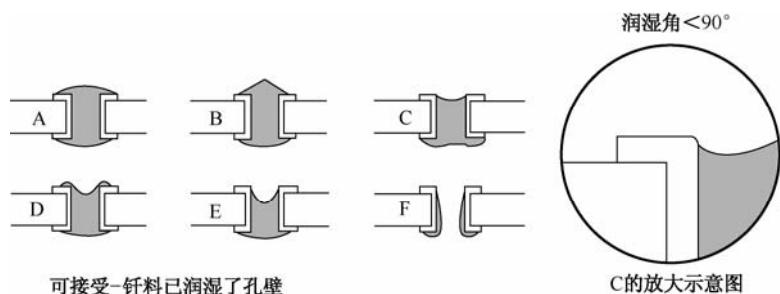


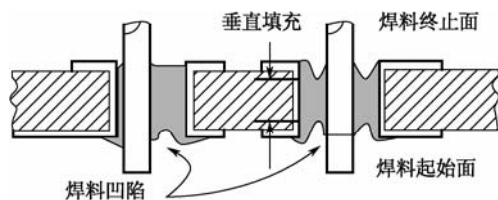
图 3.7 孔壁和器件的引脚充分润湿

(5) 界面连接

对于有引脚的非支撑孔或用于界面间连接的不进行焊接的导通孔，以及对于有永久性或临时性保护层保护的导通孔，均可不必进行焊料填充；对于没有引脚的导通孔，经过波峰焊、再流焊后应满足如图 3.7 所示的焊接要求。

① 通孔插装器件引脚的焊接。

焊点必须良好润湿。引脚金属化孔的填充必须满足如图 3.8 和表 3.2 所示的要求，焊料要润湿孔壁。单面板（非支撑孔）应该满足如表 2.3 所示中 C 的要求。



对于1、2、3级的最小可接受的条件见表3.2

图 3.8 引脚金属化孔的填充图

表 3.2 通孔插装器件引脚的最低可接受条件^①

| 标 准 | 1 级 | 2 级 | 3 级 |
|-------------------------|------|------|------|
| A. 主面的周边润湿（焊料终止面） | 无规定 | 180° | 270° |
| B. 焊料的垂直填充 ^② | 无规定 | 75% | 75% |
| C. 引脚和内壁在焊接面的周边填充和润湿 | 270° | 270° | 330° |
| D. 焊料终止面的焊盘焊料润湿覆盖率 | 0° | 0° | 0° |
| E. 焊料起始面的焊盘焊料润湿覆盖率 | 75% | 75% | 75% |

注：① 润湿的焊料是指焊接过程中的焊料。

② 25%的未填充高度包括起始面和终止面的焊料缺失。

② 焊点中的引脚。

焊区中的引脚或导线，其外形在焊点中应是可以辨识的。

③ 底层金属的暴露。

通孔插装器件引脚的顶部和印制电路连接盘的边沿和（或）外围的不完全润湿是可以接受的。

3.1.8 涂覆灌封

1. 覆形涂覆

应充分理解和掌握材料的技术要求和供应商的使用说明。当固化参数（温度、时间、红外线强度等）与供应商推荐的不一致时，应通过试验确定并记入相应的工艺文件中。涂覆材料应在指定的储藏期间和适用期内使用，或者在（标识和控制到期材料的）文件规定的期间内使用。

（1）应用

设计文件规定的涂覆区域应是连续性的。涂覆区域的边沿应保持最短。涂覆材料不应损坏印制电路板。与设计规定要涂覆区域的尺寸（长度、宽度或直径）相比，实际尺寸允许最多减少 0.75mm。

① 可调器件。

可调器件的调节区域和机械、电气配合的表面，如测试点、螺纹，卡子等安装导向的支撑面不能涂覆的，应在设计文件上注明。

② 连接器。

连接器的配合区域不能采用覆形涂覆的方式，但在连接器与板接口区域的周边，应让覆形涂覆提供封边，如图 3.9 所示。

③ 支架上的覆形涂覆。

除非设计文件特别要求，否则支架或其他装配器件的配合（接触）表面不应采用覆形涂覆方式，如图 3.9 所示。



图 3.9 使用胶纸等方式保护不采用覆形涂覆的器件

（2）技术要求

① 厚度。

覆形涂覆涂层厚度的要求如表 3.3 所示。

表 3.3 覆形涂覆涂层厚度的要求

| 型 品 | 名 称 | 厚度（mm） |
|------|---------|-----------|
| AR 型 | 丙烯酸树脂 | 0.03~0.13 |
| ER 型 | 环氧树脂 | |
| UR 型 | 氨基甲酸酯树脂 | |
| SR 型 | 硅酮树脂 | 0.05~0.21 |
| XY 型 | 甲苯树脂 | 0.01~0.05 |



涂层的厚度要在印制电路组装件平坦、无障碍和固化的表面上测量，或者在组装件的试样件上测量，试样件可以和印制电路板材料相同，也可以是其他疏松材料，如金属或者玻璃。作为一种替代方案，湿膜厚度测量方法也可以用于测量涂层的厚度，它是基于已知的干湿膜厚度转换关系得到涂层厚度的。

② 涂覆层。

覆形涂覆应当按照设计文件上规定的方式进行，同时应满足如下要求。

- 涂覆层完全固化，分布均匀。
- 涂覆层仅限于设计文件指定的区域内。
- 涂覆层不能有起泡或发生影响组装件工作和密封性的断裂现象。
- 涂覆层中不能有空洞、气泡以及外来物，它会破坏元件导体、印刷线导体（包括地线）和其他导体间的绝缘性，也会影响最小电气间隙。
- 涂覆层中不能夹有粉屑物，没有剥离或皱褶现象（涂覆层有黏附不上的地方）。

用户板涂覆完成后的局部图片，如图 3.10 所示。

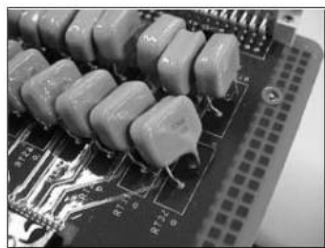


图 3.10 涂覆完成后的局部图

(3) 返工

涂覆层的清除和更换程序，应在通过验证的工艺文件的指引下进行。

(4) 检查

涂覆质量的检查通常采用肉眼目视。仲裁时可使用 1.75 倍到 4 倍的放大装置。如果涂覆材料中含有 UV（荧光物质）示踪剂，涂覆检查可以在 UV 光源下进行。

2. 灌封

应充分理解和掌握材料的技术要求和供应商的使用说明，灌封材料应在指定的储藏期间和适用期内使用，或者在（标识和控制到期材料的）文件规定的期间内使用。

(1) 应用

设计文件规定的灌封区域应是连续的。灌封材料不应损坏印制电路板。没有灌封要求的表面，设计文件规定的非灌封区域应是不进行灌封的。

(2) 技术要求

灌封区域应完全固化，分布均匀。灌封仅限于设计文件指定的区域，不能有气泡、起泡或发生影响组装件工作和密封性的断裂现象。灌封区域中不能有可见的裂缝、微裂纹、粉屑物、剥离或皱褶现象。

(3) 返工

灌封材料的清除和更换程序应在通过验证的工艺文件的指引下进行。



(4) 检查

灌封质量的检查采用肉眼目检即可。

3.1.9 返工和修复

(1) 返工

必须将不可接受的焊点情况编写成文件,这些文件应列出发生的潜在原因和决定是否做出改善行动,返工后的焊点按要求进行检查。

(2) 修复

修复是将不可接受的终端产品改变成可接受的,符合最初功能要求条件。修复的方法可以通过协议或协商确定。

(3) 返工、修复后的清洗

在返工和修复后,装配组件应进行必要的清洗,清洗后的清洁度应符合要求。

3.1.10 其他要求

1. 健康与安全

电子装联过程中用到的一些材料可能是有害的,在这些材料的资料中必须标明所有的安全注意事项。在所有使用化学焊接或会产生烟雾的地方,都必须提供充足的通风条件。为了保证人员安全,工作场所、设备和操作程序必须符合国家和地方政府颁布的有关职业、安全和健康法规的要求。

2. 特别制造要求

(1) 含有磁性线圈的元器件的制造

现代电子装联安装技术不适用于那些有内部电子元件安装的制造过程,以及对内部变压器、电动机等类似元件连接进行焊接的过程。除非用户对此规范提供的控制有特殊的需求,否则不能按此规范的要求来生产这些元件的内部器件。除蒸汽老化外,这些元件的外部连接(如末端、引脚等)必须满足此规范的要求。

(2) 高频产品应用

高频产品(如无线电波和微波)所需要的元件间隙、安装系统和装配设计可能会与此规范的要求有出入。当高频产品的设计要求与此规范列出的设计和元件安装要求不一致时,制造商可以使用其他的设计。



(3) 高压或高功率产品应用

高功率产品(如高压电源)所需要的元件间隙、安装系统和装配设计可能会与此规范的要求有出入。当高功率产品的设计要求与此规范列出的设计和元件安装要求不一致时,制造商可以使用其他设计。

3. 出现与本章要求不一致情况时的处理

制造商有责任保证出产的产品完全满足此规范和适用的设计文件的要求。若一个产品以基本产品规格来定义时,则在生产该产品时必须满足此规范的要求。只有当某些特定要求时才能作为例外处理。当不清楚会有哪些地方与此规范不符时,制造商有责任与用户沟通以保证两者的要求一致。

3.2 生产过程静电防护管理要求

3.2.1 静电产生的机理与危害

在干燥和多风的秋天,在日常生活中,人们常常会碰到这种现象:晚上脱衣服时,黑暗中常听到噼啪的声响,而且伴有蓝光,见面握手时,手指刚一接触到对方,会突然感到指尖针刺般疼痛;早上起来梳头时,头发会经常“飘”起来,越理越乱,拉门把手、开水龙头时都会“触电”,时常发出“啪啪”的声响。这就是发生在人体的静电。物理课本上告诉我们,橡胶棒与毛皮摩擦,橡胶棒带负电;丝绸与玻璃棒摩擦,玻璃棒带正电。这些都是摩擦起电的自然现象。

所谓静电,就是一种处于静止状态的电荷或者说不流动的电荷(流动的电荷就形成了电流)。当电荷聚集在某个物体上或表面时就形成了静电,而电荷分为正电荷和负电荷两种,也就是说静电现象也分为两种,即正静电和负静电。当正电荷聚集在某个物体上时就形成了正静电,当负电荷聚集在某个物体上时就形成了负静电,但无论是正静电还是负静电,当带静电物体接触零电位物体(接地物体)或与其有电位差的物体时都会发生电荷转移,即我们日常见到火花放电现象。例如,北方冬天天气干燥,人体容易带上静电,当接触他人或金属导体时就会出现放电现象。人会有触电的针刺感,夜间能看到火花,这是化纤衣物与人体摩擦人体带上正静电的原因。

静电的危害有很多,它的第一种危害来源于带电体的互相作用。在飞机机体与空气、水汽、灰尘等微粒摩擦时会使飞机带电,如果不采取措施,将会严重干扰飞机无线电设备的正常工作,使飞机变成“聋子”和“瞎子”;在印刷厂里,纸页之间的静电会使纸页粘在一起,难以分开,给印刷带来麻烦;在制药厂里,由于静电吸引尘埃,会使药品达不到标准的纯度;在电视机播放时,荧屏表面的静电容易吸附灰尘和油污,形成一层尘埃的薄膜,使图像的清晰程度和亮度降低;在混纺衣服上常见而又不易拍掉的灰尘,也是静电引起的。静电的第二种危害,是有可能因静电火花点燃某些易燃物体而发生爆炸。漆黑的夜晚,人们脱化纤、毛



料衣服时,会发出火花和“啪啪”的响声,这对人体基本无害;在手术台上,电火花会引起麻醉剂的爆炸,伤害医生和病人;在煤矿中,电火花则会引起瓦斯爆炸,会导致工人死伤,矿井报废;在电子加工行业,静电会击穿集成电路或者精密的电子元件(如DVD光头,非常容易受到静电的损伤),造成产品出现质量问题。静电破坏如图 3.11 所示。

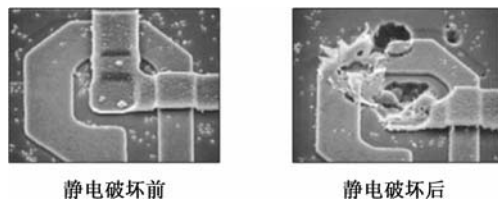


图 3.11 静电破坏

静电的产生在工业生产中是不可避免的,其造成的危害主要可归结为以下两种机理。

(1) 静电放电(ESD)造成的危害

- ① 引起电子设备的故障或误动作,造成电磁干扰。
- ② 击穿集成电路和精密的电子元件,或者促使元件老化,降低生产成品率。
- ③ 高压静电放电造成电击,危及人身安全。
- ④ 在易燃易爆品或粉尘、油雾的生产场所极易引起爆炸和火灾。

(2) 静电引力(ESA)造成的危害

- ① 电子工业:吸附灰尘,造成集成电路和半导体元件的污染,大大降低成品率。
- ② 胶片和塑料工业:使胶片或薄膜收卷不齐;胶片、CD 塑盘沾染灰尘,影响品质。
- ③ 造纸印刷工业:纸张收卷不齐,套印不准,吸污严重,甚至纸张黏结,影响生产。
- ④ 纺织工业:造成根丝飘动、缠花断头、纱线纠结等危害。

3.2.2 常见的静电防护措施

(1) 仪器、设备、工具接地

要求每一台仪器与电动工具都有良好的接地,接地电阻小于 1Ω (设备接地点与公共接地点间的电阻小于 1Ω ,使用设备金属外壳测量接地电阻时允许小于 10Ω)。烙铁头接地电阻小于 20Ω 。

(2) 防静电设施接地

防静电工作台、工椅等应接地良好。防静电工作台的系统电阻要求: $1 \times 10^5 \sim 1 \times 10^9 \Omega$ 。防静电工作台、流水线公共接地线接地电阻小于 1Ω ,作为验收标准。日常检测允许小于 4Ω 。防静电工椅的系统电阻要求: $1 \times 10^5 \sim 1 \times 10^9 \Omega$ 。

(3) 防静电地线

电气保护地和独立敷设的防静电地均可作为防静电地,接地电阻小于 1Ω 。两者同时作



为防静电地时，两路地线间电阻值应小于 25Ω 。

(4) 防静电公共接地点

厂房应设立防静电地线，各楼层应设立防静电公共接地点，各楼层公共接地点至大地的接地电阻值小于 4Ω 。各楼层防静电公共接地点，应由楼层使用面积最大的部门负责检测，每年每个楼层抽测 3 个点。行政部基建管理人员应协助实施，提供测试仪器（摇表）并进行现场指导测试。

(5) 地面接地

地面敷设防静电地板，防静电系统电阻值： $1 \times 10^4 \sim 1 \times 10^9 \Omega$ 。防静电地板应定期维护保养，每年至少打 1 次防静电地板蜡。

(6) 接地连接规范

防静电地线应采用铜条或黄绿色多股铜线。防静电地线与防静电地极之间阻值小于 4Ω 。

防静电地线间的连接应采用螺钉拧紧方式或焊接或对接地点绕紧后采用电工胶带绑紧的固定连接方式。现场除了防静电手腕带、移动设备工具，其他固定连接的工具、设备、接地线间连接禁止采用鳄鱼夹接地。

各工具、设备防静电接地点接入防静电地线采用并联方式，优先采用防静电公共接地排进行并联汇接，禁止采用串联方式。SMT 设备、单板装联设备、模块/整机组装及调测设备，以及配置有防静电接地点的设备工具（如电烙铁），应采用独立防静电接地线接地。即在设备工具金属接地部件引出独立的接地线固定连接到防静电地线上，以保障接地可靠。

防静电接地连接示意图如图 3.12 所示。

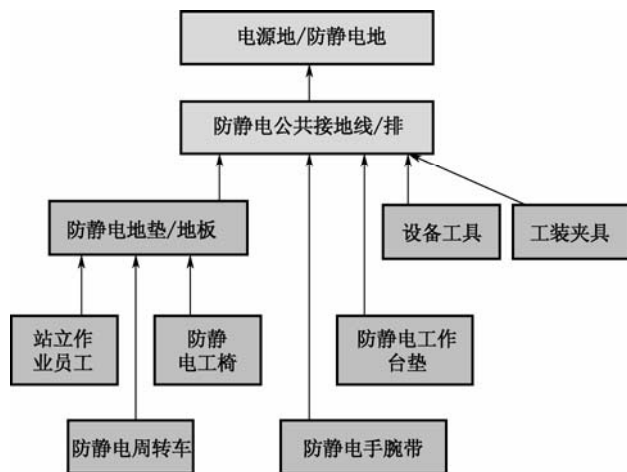


图 3.12 防静电接地连接示意图

(7) 人员防护

进入防静电区域，必须穿防静电工衣、防静电工鞋（穿棉质袜子）或鞋套，戴防静电工



帽。防静电区域入口应配置人体综合测试仪，进入防静电区域的员工必须进行测量、记录，通过后方可进入。使用防静电手环的员工应测试防静电手环并记录，测试异常应及时反馈并更换。工鞋测试电阻范围： $7.5 \times 10^5 \sim 3.5 \times 10^7 \Omega$ ；手环测试电阻范围： $7.5 \times 10^5 \sim 1 \times 10^7 \Omega$ ；工衣、工帽表面电阻： $1 \times 10^5 \sim 1 \times 10^{10} \Omega$ 。

坐着操作静电敏感元器件、单板和组件的员工在操作时要求双脚着地，不得出现双脚放在架子上或其他现象，必须佩戴防静电手环，佩戴时必须贴紧皮肤，不得松脱；整齐穿着工衣、工鞋、工帽的员工双脚站在防静电地面上操作时可以不戴手环操作。

外来人员，包括客户、合作厂商、研发、技术支持人员等，穿着鞋套在 EPA 区域内操作单板及器件时应佩戴防静电手环；工程现场操作人员必须佩戴手环操作。

接触静电敏感元器件、单板与组件时应佩戴防静电手套或指套，各工序具体操作应按工艺作业指导书规定实施。

(8) EPA 区域

EPA 区域是参照 ANSI/ESD S20.20、IEC 61340-5-1 防静电国际标准体系建立的防静电工作区域，按静电防护等级 HBM 模型小于 100V 设计，即静电敏感度（HBM 模型）大于或等于 100V 的产品在 EPA 区域能得到有效防护。

EPA 区域分为一级防静电工作区域及二级防静电工作区域。

一级防静电工作区域，在环境温湿度控制、人员防护、离子化覆盖、静电防护材料和用品性能、防静电监控设施应用等方面比二级防静电工作区域要求更为严格，包括采用加湿设备、人员 ESD 门禁系统、悬挂式多头离子风机、永久防静电泡棉、接地监控报警器等。

EPA 区域内可以操作裸露器件和单板，器件及单板应放在防静电容器中或防静电工作台上。

EPA 区域内禁止放置白色气泡袋、缠绕膜等高静电源的绝缘材料。

EPA 区域内不可清除的静电产生物品（如装配中容易产生静电的塑胶件、器件、显示器等）必须采取防静电措施，如使用离子风机、涂防静电液、使用屏蔽袋或屏蔽网屏蔽处理、保证静电敏感元器件和单板及组件远离不可清除的静电源 30cm 以上。距离静电敏感元器件、单板及组件 30cm 以内的范围，摩擦电电压应小于 100V。

(9) 离子风扇配置

有使用绝缘材料的地方，如 PCB 拆包装上线位，其他器件的绝缘包装工位；处理最高敏感度低于和接近 100V 的器件的地方；过炉后；维修工位；其他静电场大于 100V，距离裸露单板/器件小于 30cm 的工序。应用范围：单板制造工艺流程上易引入静电风险的工序，包括 SMT、组装、测试、维修等。

(10) 防静电液喷涂

把防静电液均匀喷涂在非防静电材料表面，并使用防静电毛刷或棉布涂敷均匀，过 30min 后重复一遍以上动作。喷涂后实施检测验证，用静电电压测量表检测，棉布或纸张在涂敷层表面单向摩擦 20 次，要求表面摩擦电压小于 100V。有效期内禁止使用湿布清洁。喷涂后每月进行检测。



(11) 温度、湿度

各生产车间和库房必须安放温 / 湿度计, 为真实地表征车间的环境温 / 湿度, 温 / 湿度计的安装点应具代表性, 不应正对冷气排放口及其他热源和冷源。

一级防静电工作区域环境温度为 $18\sim 28^{\circ}\text{C}$, 相对湿度为 $40\%\sim 70\%$ 。

二级防静电工作区域环境温度为 $18\sim 28^{\circ}\text{C}$, 相对湿度为 $30\%\sim 70\%$ 。

(12) 包装、运输、仓储

静电敏感元器件、单板及组件周转过程应使用防静电材料制作的工具, 如防静电泡棉、防静电箱、防静电吸塑盒、防静电周转车、防静电屏蔽袋等。禁止将静电敏感元器件、单板及组件直接放在非防静电的器具中 (如普通 EPE 托盘、普通吸塑盒、普通塑料袋、普通塑料箱、普通中空板箱、不防静电周转车等)。

防静电周转车应配置两条接地链条。两条地链保持大于 300mm 的间距, 且不与周转车轮子或其他部件发生干涉, 链条拖地长度不小于 30mm 。

单板 SMT 加工、组装、测试生产区域, 禁止使用纸箱配送物料, 禁止使用木栈板配送单板及静电敏感物料。整机生产现场、库房使用纸箱及木栈板配送物料时应与裸露单板、器件保持 30cm 以上距离, 对于单板及静电敏感物料应使用防静电封闭包装再装载到纸箱及木栈板中。

防静电周转器具应有明显的静电防护警示标识、供应商标识。

存在使用期限的防静电周转器具和包装材料应注明生产日期, 超过有效期限后应停止使用。

现场周转用的防静电 EPE 泡棉应标注生产日期及厂家标识, 对已过期的防静电 EPE 泡棉进行回收处理。

在非 EPA 区域运输静电敏感元器件、单板及组件, 如跨厂运输, 应先采用防静电封闭包装。

(13) 标识

EPA 区域入口处应有明显 EPA 警示标识。EPA 区域应用黄色斑马线做标识线将防静电工作区划定, 并在黄色斑马线上贴附 EPA 区域警示地标。EPA 警示地标要求每隔 $3\sim 5\text{m}$ 贴一张, 拐角处各贴一张。EPA 区域的 ESD 公共接地点贴上公共接地点警示标识。使用的防静电周转、储存工具和设备等, 若供应商未直接喷涂或印刷防静电标识的, 各使用部门应在这些工具设备上贴附相应的静电防护警示标识。如静电敏感单板上应使用产品静电敏感警示标识, 防静电物流器具、工具上应使用静电防护警示标识, 防静电公共接地点应使用防静电公共接地点警示标识。实际操作以确定物料代码的实物为准。标识设计参考 ANSI/EOS/ESD S8.1: Symbols-ESD Awareness。警示标识如图 3.13 所示。



图 3.13 警示标识

3.2.3 场地和总体要求

- ① 元器件库的货架、货柜需安装防静电地线，并贴防静电标识。
- ② 生产厂房应布有符合有关标准的整体接地系统，各工序均应有与整体地线相连的局部地线。
- ③ 发放静电敏感元器件的工作台应铺有防静电桌垫并按要求接地。
- ④ 储存周围环境应无强磁场和电场，30cm 内不得出现静电压超过 100V 的静电源。
- ⑤ 所有设备必须可靠接地。
- ⑥ 进入元器件库及生产现场门口必须有醒目的防静电标识。
- ⑦ 防静电区域内所有员工都有义务与责任提醒与制止违反防静电要求的行为。

3.2.4 物料收发控制

- ① 进货已采取特殊包装的静电敏感物料，仓储部在收料、发料时必须保持原包装。
- ② 静电敏感元器件，应装在防静电塑料管、盘或抽真空的密封铝箔内储存。
- ③ 真空包装的贵重元器件需要零星发料时，应分别对发出和留存的元器件进行抽真空封口处理和采取防静电措施。
- ④ 搬运和周转敏感的电子元器件时，必须放入防静电周转箱或盒中。

3.2.5 生产过程静电防护

- ① 操作人员必须将拆开静电敏感保护包装的物料放置于防静电容器内。
- ② 进入生产现场（含元器件库）的人员必须穿戴防静电服与防静电鞋、帽，接触单板时必须戴防静电手环。
- ③ 参观者必须由陪同人员负责其防静电工作。
- ④ 成型、装配、维修电路板的工作台面上应铺有防静电台布并可靠接地。
- ⑤ 手工焊接或返修时对静电敏感元器件要使用防静电烙铁。
- ⑥ 单板周转必须使用防静电周转箱或使用周转车，周转车必须有接地链条。如果使用包装箱或周转车周转，单板需要接触放置时，板与板之间应采用防静电隔离板进行隔离。



3.2.6 包装过程和半成品库静电防护

包装人员必须戴防静电手套，严格按包装工艺文件要求进行单板包装和储存。

3.2.7 人员培训

组织对生产等相关一线员工进行防静电知识的培训，养成静电防护的良好意识。

3.2.8 检查

① 监管部门需要对防静电器材性能进行检验。检验周期按表 3.4 所示规定进行，相关标准如表 3.5 所示。

表 3.4 防静电检查周期表

| 检查项目 | 稽核周期 | | | | | 测量仪器 |
|---------------------|------|---|---|---|---|---------|
| | 日 | 周 | 月 | 季 | 年 | |
| 手腕带量测 | ★ | ☆ | ☆ | ☆ | | 人体综合测试仪 |
| 静电鞋量测 | ★ | ☆ | ☆ | ☆ | | 人体综合测试仪 |
| 防静电标识 | ★ | ☆ | ☆ | ☆ | | 目测 |
| 环境温度 | ★ | ☆ | ☆ | ☆ | | 温度计 |
| 环境湿度 | ★ | ☆ | ☆ | ☆ | | 湿度计 |
| 仪器、设备、工作台接地线电阻 | | ★ | ☆ | ☆ | | 万用表 |
| 离子风扇量测 | | ★ | ☆ | ☆ | | 静电电压量测仪 |
| 工作服表面电阻量测 | | | ☆ | ☆ | | 电极，兆欧表 |
| 工作台面（包括台垫）表面电阻与系统电阻 | | | | ☆ | | 电极，兆欧表 |
| 周转容器表面电阻与系统电阻 | | | | ☆ | | 电极，兆欧表 |
| 存放容器、小车等表面电阻与系统电阻 | | | | ☆ | | 电极，兆欧表 |
| 电烙铁接地电阻与绝缘电阻 | | | | ☆ | | 万用表 |
| 防静电地面量测（表面电阻与系统电阻） | | | | | ☆ | 电极，兆欧表 |

注：★ 全检项目，☆ 抽检项目

表 3.5 防静电测试技术指标

| 测试项目 | 接地电阻 (Ω) | 表面电阻 (Ω) | 体积电阻 (Ω) | 系统电阻 (Ω) | 衰减期 (s) | 摩擦电压 (V) |
|----------|----------------|--|--|--|------------|-------------|
| 防静电地板 | 接地母线与大地之间：小于 4 | | | | | |
| 防静电地板、地面 | | $1 \times 10^4 \leq R_s < 1 \times 10^{10}$ | | $1 \times 10^4 \leq R < 1 \times 10^9$ | | <100 |
| 台垫、地垫 | | $1 \times 10^5 \leq R_s < 1 \times 10^9$ (正面) $1 \times 10^3 \leq R_s < 1 \times 10^5$ (反面) | $1 \times 10^5 \leq R_v < 1 \times 10^9$ | $1 \times 10^5 \leq R < 1 \times 10^9$ | | <100 |



续表

| 测试项目 | 接地电阻 (Ω) | 表面电阻 (Ω) | 体积电阻 (Ω) | 系统电阻 (Ω) | 衰减期 (s) | 摩擦电压 (V) |
|----------------------|-----------------------------------|---|---|---|------------|--------------------------------|
| 腕带穿戴情况下 | | | | $7.5 \times 10^5 \leq R \leq 1 \times 10^7$ | | |
| 腕带内表面对电缆扣电阻 | | | | $\leq 1 \times 10^5$ | | |
| 腕带连接电缆两端电阻 | | | | $7.5 \times 10^5 \leq R < 1 \times 10^7$ | | |
| 人体综合电阻 | | | | $1 \times 10^5 \leq R < 3.5 \times 10^7$ | | |
| 工鞋 | | | $1 \times 10^5 \leq R_v < 3.5 \times 10^7$ | $1 \times 10^5 \leq R < 3.5 \times 10^7$ | | |
| 工衣 | | $1 \times 10^5 \leq R_s < 1 \times 10^{10}$ | | | | < 100 |
| 手套、指套、帽 | | $1 \times 10^5 \leq R_s < 1 \times 10^9$ | | | | < 100 |
| 工作椅 | | $1 \times 10^4 \leq R_s < 1 \times 10^9$ | $1 \times 10^4 \leq R_v < 1 \times 10^9$ | $1 \times 10^4 \leq R < 1 \times 10^9$ | | < 100 |
| 防静电周转箱、周转容器 | | $1 \times 10^5 \leq R_s < 1 \times 10^9$ | $1 \times 10^5 \leq R_v < 1 \times 10^9$ | $1 \times 10^5 \leq R < 1 \times 10^9$ | ≤ 2 | < 100 |
| 防静电周转车 | | $1 \times 10^5 \leq R_s < 1 \times 10^9$ (导轨槽) | $1 \times 10^5 \leq R_v < 1 \times 10^9$ | $1 \times 10^5 \leq R < 1 \times 10^9$ | | < 100 |
| 防静电 EPE 托盘 | | $1 \times 10^4 \leq R_s < 1 \times 10^{11}$ | $1 \times 10^4 \leq R_v < 1 \times 10^{11}$ | | ≤ 2 | < 100 |
| 防静电袋 | | $1 \times 10^4 \leq R_s < 1 \times 10^{11}$ | $1 \times 10^4 \leq R_v < 1 \times 10^{11}$ | | ≤ 2 | < 100 (屏蔽袋: 屏蔽残余电压小于 30V) |
| 防静电剂 (夜、蜡、胶) | | $1 \times 10^5 \leq R_s < 1 \times 10^9$ | | | | < 100 |
| 防静电传送带 | | $1 \times 10^5 \leq R_s < 1 \times 10^9$ | $1 \times 10^5 \leq R_v < 1 \times 10^9$ | $1 \times 10^5 \leq R < 1 \times 10^9$ | | < 100 |
| 仪器设备、装备、工具 | 接地点与公共接地点间电阻小于 1; 外壳金属表面对地电阻小于 10 | | | | | |
| 防静电公共地线 | 与公共接地点间电阻小于 1 | | | | | |
| 防静电烙铁头 | 与公共接地点间电阻小于 20 | | | | | |
| 防静电工具 (防静电毛刷、镊子等) | | $1 \times 10^5 \leq R_s < 1 \times 10^9$ | $1 \times 10^5 \leq R_v < 1 \times 10^9$ | | | < 100 |
| 导电材料 | | $< 1 \times 10^4$ | $< 1 \times 10^4$ | | | < 100 |



续表

| 测试项目 | 接地电阻 (Ω) | 表面电阻 (Ω) | 体积电阻 (Ω) | 系统电阻 (Ω) | 衰减期 (s) | 摩擦电压 (V) |
|------|-------------|---|---|-------------|--|-------------|
| 耗散材料 | | $1 \times 10^4 \leq R_s < 1 \times 10^{11}$ | $1 \times 10^4 \leq R_v < 1 \times 10^{11}$ | | | <100 |
| 绝缘材料 | | $\geq 1 \times 10^{11}$ | $\geq 1 \times 10^{11}$ | | | |
| 离子风机 | | | | | $T_{1000-100}$: <2s (高速) <3s (低速) 离子平衡度: $\leq \pm 30V$ | |

- ② 每月一次对防静电工作进行全面检查。
- ③ 生产一线部门对烙铁、吸锡器接地情况每日使用前应检查并按规定做好记录。

3.2.9 防静电人体综合测试

- ① 进入防静电区域要求测量手环与防静电鞋，都合格后方可进入。
- ② 每人、每天测试两次，上午、下午各一次。安装有静电检测闸机的，需要严格按照要求通过。
- ③ 所有进入防静电区域人员都必须整齐穿着防静电服方可进入。

3.3 元器件成型工艺规范

3.3.1 成型的目的及意义

元器件引线成型：为了便于安装和焊接，提高装配质量和效率，加强电子设备的防振性和可靠性，在安装前，根据安装位置的特点及技术方面的要求，要预先把元器件引线弯曲成一定的形状。归纳起来分为以下4类。

- ① 调节引脚间距，使元器件便于安装。
- ② 引脚长短控制，减少波峰焊接过程的连锡故障。
- ③ 引脚打K，防止元器件在波峰焊接时发生浮高现象。
- ④ 特殊安装要求，如90°折弯。

3.3.2 常见的成型设备

成型设备多种多样，包括IC成型机、电阻成型机、三极管自动成型机、编带大功率二极管成型机、插针切断机、无废料跳线成型机、剪脚机等，如图3.14所示。

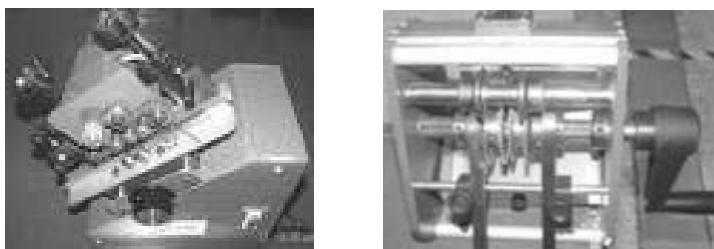


图 3.14 成型设备

3.3.3 操作过程

1. 核查元器件规格、型号

根据产品成型工艺文件要求，核对元器件的规格、型号、数量和属性（RoHS、无铅、有铅或无卤）。

2. 检查元器件的外观质量

- ① 元器件外观应无损伤、变形等现象，标识清晰。
- ② 元器件引线或引脚应无锈迹等氧化物和其他污染物。
- ③ 当元器件引线或引脚表面沾污，氧化严重或者引线焊接部位有涂料时，必须在成型前进行可焊性预处理。
- ④ 各连接器、接插件的金属接触对或舌簧片不得变形损伤，且外观无腐蚀。
- ⑤ 开关元器件通断良好。

3. 元器件成型的基本规定

- ① 引脚长度定义。
 - 长插：引脚长度小于或等于 25mm；
 - 短插：元器件的有效引脚长度定义，如图 3.15 中的 L 所示。

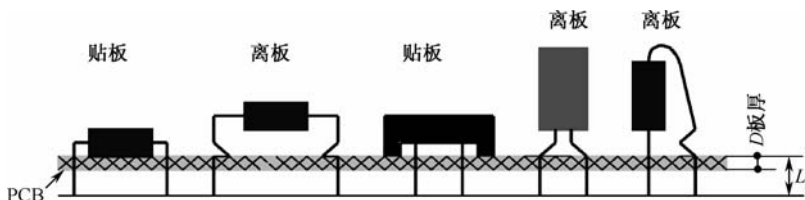


图 3.15 引脚长度定义

② 引脚有效长度 L 的确定。

元器件成型的有效引脚长度值，如果引脚有弯折，以元器件引脚弯折部的下端点（或面）的以下部分为有效引脚长度，如图 3.15 所示。

有效引脚长度值 $L=D+d$ ， D 为 PCB 板厚， d 为引脚出板长度，与器件类型有关，连接器类型的出脚长度 d 通常为 0.7mm，连接器之外的器件出板长度 d 通常为 1.5mm，因此有效



引脚长度 L 如表 3.6 所示。

表 3.6 有效引脚长度

| 常用板厚 D (mm) | 连接器 L (d 为 0.7mm) | 连接器外其他器件 L (d 为 1.5mm) | 公差 |
|--|------------------------|-----------------------------|--------------------|
| 1.0 | 1.7 | 2.5 | $\pm 0.3\text{mm}$ |
| 1.2 | 1.9 | 2.7 | |
| 1.6 | 2.3 | 3.1 | |
| 2.0 | 2.7 | 3.5 | |
| 2.4/2.5 | 3.2 | 4 | |
| 3.0 | 3.7 | 4.5 | |
| 其他板厚的有效引脚长度: $L=D+d$ (引脚出板长度如有要求, 以产品工艺文件为准) | | | |

③ 引脚跨距 X 。

引脚跨距定义为二引脚中心线之间的距离, 用符号 X 表示, 其加工尺寸精度为:

$$X \pm 0.5\text{mm}$$

④ 插针成型。

对弯脚插针和直脚插针均采用相应的切断工具机成型, 圆孔插针需要手工成型, 具体针数由相应的产品工艺文件确定。

⑤ 发光二极管套管长度的确定。

发光二极管套管长度以 2 增值, 即套管长度尺寸系列为: 10、12、14、16、18 等, 其加工尺寸精度为:

$$y \pm 0.5\text{mm}$$

4. 主要元器件成型方式

(1) 符号标识

① 成型中所使用的符号标识定义如下。

- R: 电阻。
- C: 电容。
- D: 二极管。
- HL: 发光二极管。
- T: 三极管。
- L: 电感。
- G: 晶体振荡器。

② 按成型方式的不同, 其分类编码依次以 a、b、c、d 等来区分, 例如, 不同成型方式的电阻元件, 其形式方式编码型谱为 Ra、Rb、Rc 等。

(2) X 、 Y 、 Z 值的确定

图 3.16 至图 3.28 中所示的 X 、 Y 、 Z 值由产品工艺文件给出, 加工中可直接查询产品工艺文件获得。



(3) 成型规范型谱结构形成

① 电阻成型规范型谱。

电阻成型规范型谱：Ra、Rb、Rc、Rd 等的成型结构形状如图 3.16 所示。

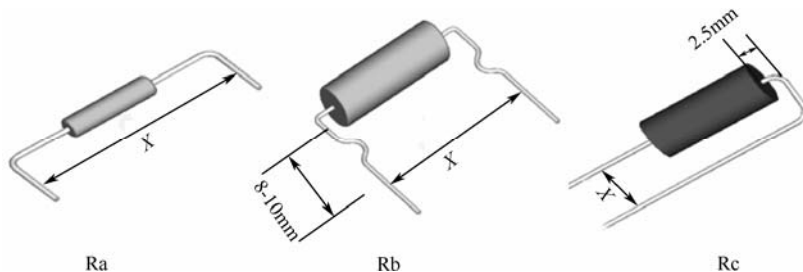


图 3.16 电阻成型规范型谱

② 电容成型规范型谱。

电容成型规范型谱：Ca、Cb、Cc、Cd、Ce、Cf、Cg、Ch 等的成型结构形状依次如图 3.17、图 3.18、图 3.19 所示。

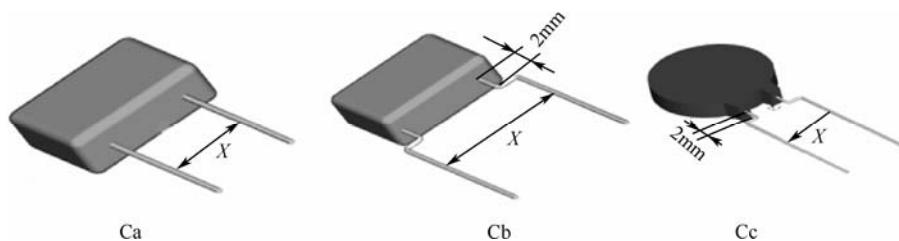


图 3.17 电容成型规范型谱

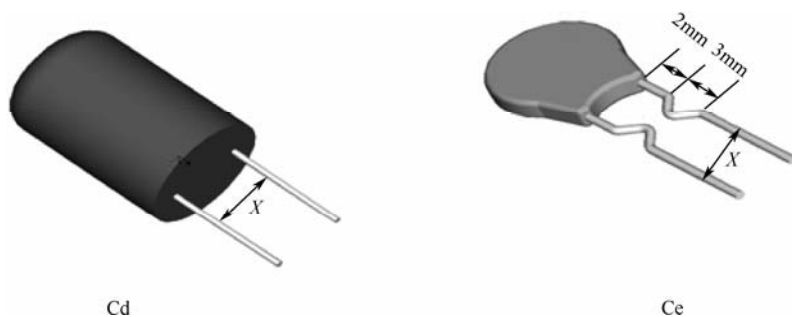


图 3.18 电容成型规范型谱

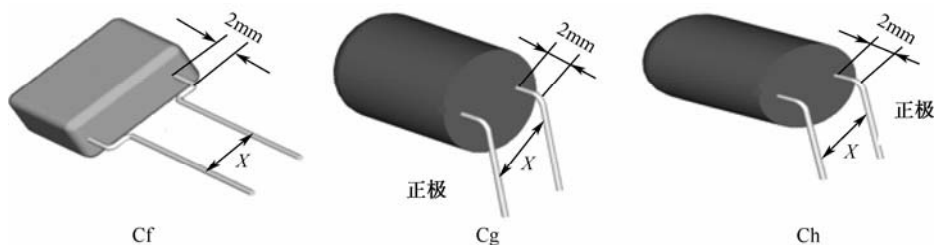


图 3.19 电容成型规范型谱



③ 二极管成型规范型谱。

二极管成型规范型谱：Da、Db、Dc、Dd 等的成型结构形状依次如图 3.20、图 3.21 所示。

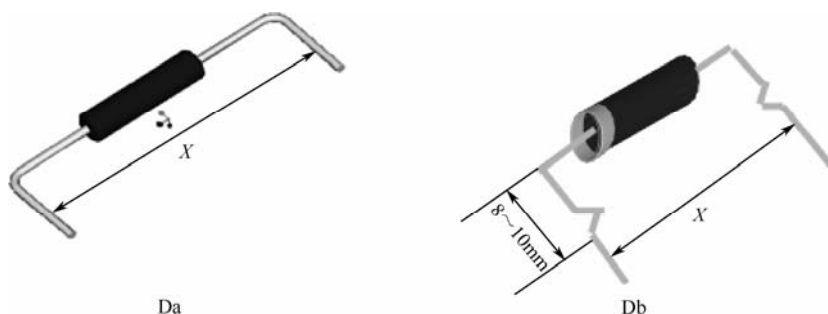


图 3.20 二极管成型规范型谱

④ 三极管成型规范型谱。

三极管成型规范型谱：Ta、Tb、Tc、Td 等的成型结构形状依次如图 3.22、图 3.23 所示。

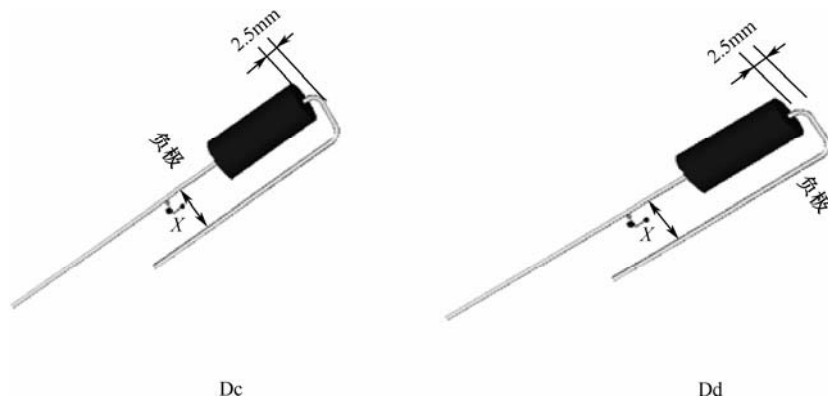


图 3.21 二极管成型规范型谱

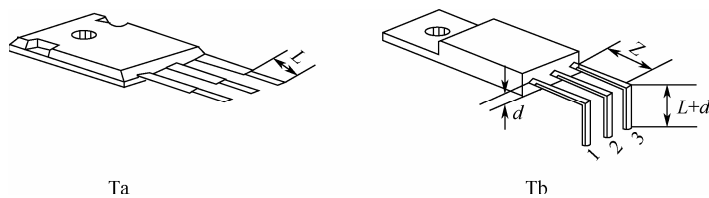


图 3.22 三极管成型规范型谱

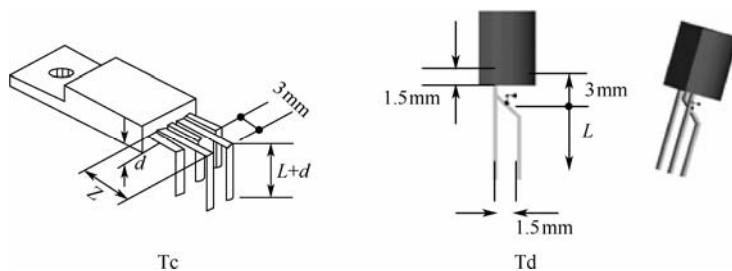


图 3.23 三极管成型规范型谱



⑤ 晶体振荡器成型规范型谱。

晶体振荡器成型规范型谱：Ga、Gb、Gc 等的成型结构形状如图 3.24 所示。

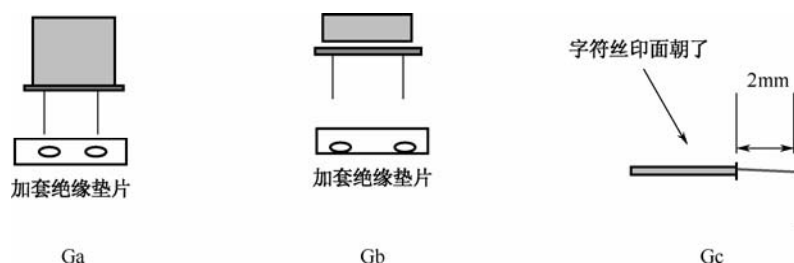


图 3.24 晶体振荡器成型规范型谱

⑥ 发光管（指示灯）成型规范型谱。

发光管（指示灯）成型规范型谱：HLa、HLb、HLc、HLd、HLe、HLf、HLg 等的成型结构形状依次如图 3.25、图 3.26、图 3.27 所示。

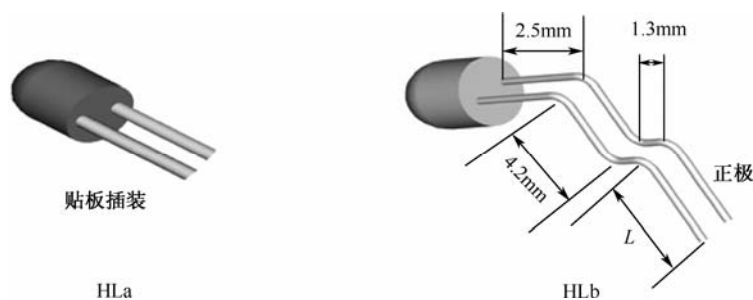


图 3.25 发光管（指示灯）成型规范型谱

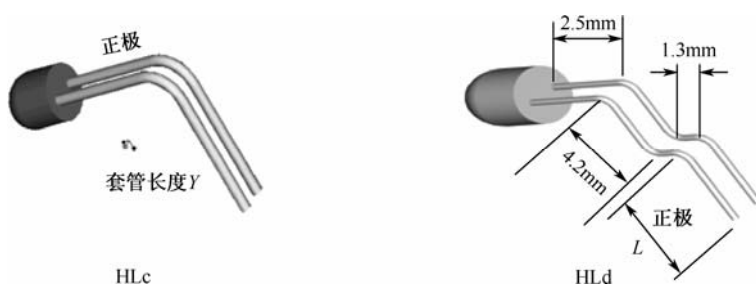


图 3.26 发光管（指示灯）成型规范型谱



图 3.27 发光管（指示灯）成型规范型谱



⑦ 电感成型规范型谱。

电感成型规范型谱：La、Lb 等的成型结构形状如图 3.28 所示。



图 3.28 电感成型规范型谱

⑧ IC、光耦成型规范型谱。

用 IC 整形机将双列直插式 IC、光耦进行整形，使 IC、光耦引脚表面成 90°。

5. 元器件引脚成型：弯曲要求

(1) 可接受

① 安装在支撑孔中的元器件，从元器件的本体、球状连接部分或引脚焊接部分到元器件引脚折弯处的距离，至少相当于一个引脚的直径、厚度或 0.8mm 中的较大者，如图 3.29 所示。

② 成型的元器件引脚应无扭曲和裂缝，引脚内侧的弯曲半径符合如表 3.7 要求，如图 3.30 所示。

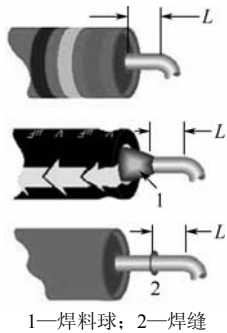


图 3.29 引脚焊接部分到元器件引脚折弯处的距离

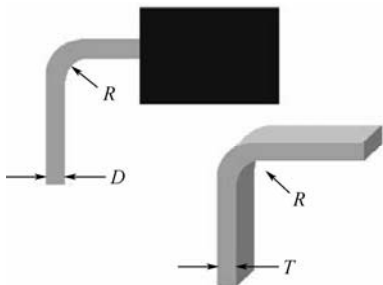


图 3.30 引脚内侧弯曲半径

表 3.7 引脚内侧的弯曲半径

| 引脚的直径 (D) 或厚度 (T) | 引脚内侧的弯曲半径 (R) |
|-------------------|---------------|
| 小于 0.8mm | 1×直径 / 厚度 |
| 0.8~1.2mm | 1.5×直径 / 厚度 |
| 大于 1.2mm | 2×直径 / 厚度 |

(2) 拒收

- 元器件引脚折弯处距元器件体的距离，小于引脚直径或 0.8mm 中的较小者；



- 元器件的本体、球状连接部分或引脚焊接部分有裂缝，如图 3.31 所示。
- 元器件内侧的弯曲半径不符合表 3.8 所示要求，如图 3.32 所示。



图 3.31 引脚焊接部分有裂缝



图 3.32 内侧弯曲半径不符合要求

6. 应力释放——支撑孔

(1) 可接受

- 元器件引脚的延伸尽量与元器件本体中轴线平行。
- 安装在支撑孔中的元器件，其引脚尽量与 PCB 板面垂直，如图 3.33 所示。
- 元器件的引脚成型后要有足够大的应力释放，如图 3.34 所示。

(2) 拒收

- 没有应力释放，如图 3.35 所示。
- 元器件本体封装部分到引脚弯曲外的长度小于引脚直径，本体或引脚封装处有损伤或裂缝，如图 3.36 所示。



图 3.33 引脚与 PCB 板面垂直

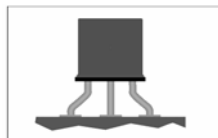


图 3.34 应力释放



图 3.35 没有应力释放

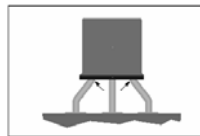


图 3.36 有损伤或裂缝

7. 应力释放——接线端

(1) 优选

元器件轴线与接线端边缘距离应大于元器件体直径的一半或 1.3mm 中的最大者。对于元器件直径小于 6mm，测量相邻的边缘，如图 3.37 所示。

对于接线夹或粘接固定的元器件以及覆形涂覆的组件，两边引脚都有应力释放，如图 3.38 所示。

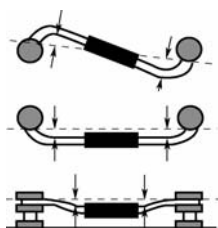


图 3.37 优选

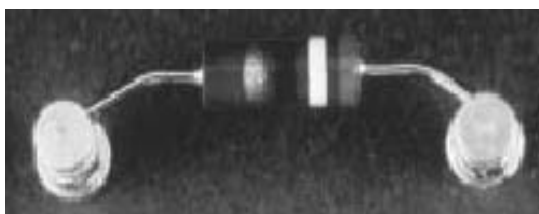


图 3.38 优选

(2) 可接受

引脚不用夹子或粘接固定时，应进行单根引脚弯折，以消除应力，如图 3.39 所示。

(3) 拒收

无法释放应力，如图 3.40 所示。

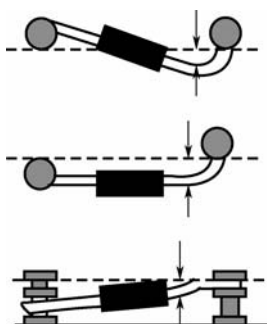


图 3.39 可接受

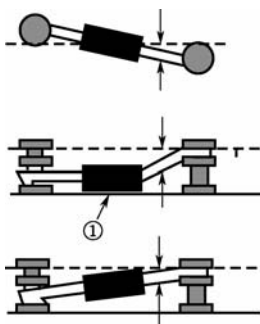


图 3.40 拒收

8. 标识的基本要求

元器件成型为立式时，无极性元器件的标识应从上至下读取，如图 3.41 所示。极性元器件的标识在元器件的顶部，如图 3.42 和图 3.43 所示。



图 3.41 标识朝向上方之一



图 3.42 标识朝向上方之二



图 3.43 标识朝向上方之三

引线成型后，元器件的型号、规格、标识应位于引脚弯曲的上方，或者便于观察的方向，如图 3.44 所示。

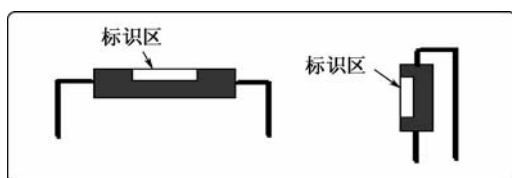


图 3.44 标识朝向上方或者朝外



9. 损伤——元器件引脚

(1) 可接受

无论是利用手工、机器或模具对元器件进行预成型，其引脚上的刻痕、损伤或形变不能超过引脚直径或厚度的 10%，如图 3.45 所示。

(2) 拒收

- 元器件引脚的损伤超过了引脚直径的 10%。
- 元器件引脚由于多次成型或粗心操作造成引脚变形，如图 3.46 所示。
- 引脚上留有夹具造成的夹痕，引脚的损伤超过了引脚直径的 10%，如图 3.47 和图 3.48 所示。



图 3.45 可接受



图 3.46 拒收之一



图 3.47 拒收之二



图 3.48 拒收之三

10. 损伤——径向双引脚

(1) 可接受

- 元器件体没有刮痕、残缺、裂缝，元器件标识清晰可辨，如图 3.49 所示。
- 元器件体有轻微刮痕、残缺，但元器件的基材或功能部位没有暴露在外，如图 3.50 所示。

(2) 拒收

- 元器件所功能部位暴露在外，结构的完整性受到破坏，如图 3.51 所示。

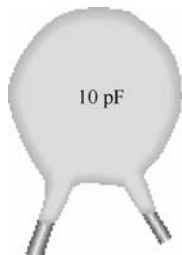
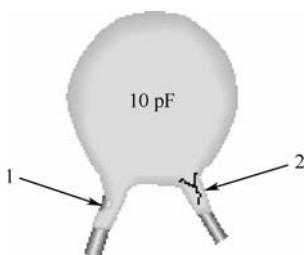


图 3.49 可接受



1—破裂；2—裂纹

图 3.50 有残缺



图 3.51 拒收

11. 损伤——径向引脚和玻璃体封装元件

(1) 制程警示

元器件表面有损伤，但未暴露出元器件内部金属材质，元器件引脚密封完好，如图 3.52



所示。

(2) 拒收

- 元器件表面绝缘涂层受到损伤，造成元器件内部金属材质暴露在外，或元器件严重变形，如图 3.53 和图 3.54 所示。
- 玻璃封装上的破裂超出元器件规范。
- 玻璃封装上的残缺引起的裂痕延伸到引脚的密封处，如图 3.55 所示。
- 玻璃体破裂。
- 绝缘封套破裂，如图 3.56 所示。



图 3.52 制程警示



图 3.53 拒收之一

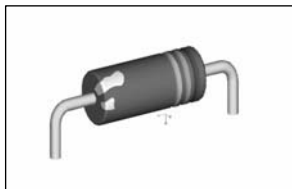


图 3.54 拒收之二



图 3.55 拒收之三

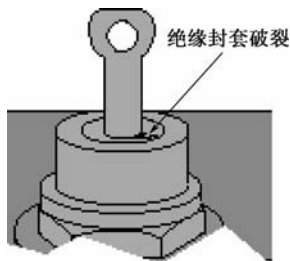


图 3.56 拒收之四

12. 损伤——双到直插 DIP 和小型 IC 封装 SOIC

(1) 可接受

元器件上无任何缺口、破裂或表面损伤，如图 3.57 所示。

(2) 制程警示

制程警示如图 3.58 所示。

- 封装体有残缺，但残缺未触及引脚的密封处。
- 封装体上的残缺引起的裂痕未延伸到引脚的密封处。
- 封装体上的残缺不影响标识的完整性。

(3) 拒收

- 封装体上的残缺触及到引脚的密封处。
- 封装体上的残缺造成封装内部的引脚暴露在外，如图 3.59 所示。
- 封装体上的残缺导致裂痕使硅片暴露。

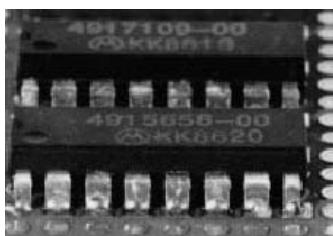


图 3.57 可接受

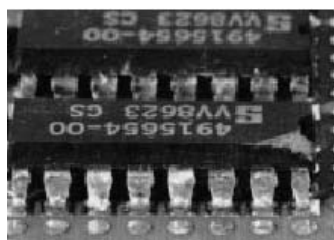


图 3.58 制程警示



1—缺触及到引脚的密封处；2—引脚暴露；3—引脚的密封处

图 3.59 拒收

3.3.4 工艺性要求

- ① 成型工作区应避免设置在大功率辐射源电磁场、强静电、强磁场或放射场附近。
- ② 应划分出无铅生产属性的元器件专用加工台位和存放区，并有识别标识。
- ③ 工作区域需满足静电防护要求。
- ④ 工作区域需要满足 5S 相关要求。
- ⑤ 元器件应放在防静电容器中或防静电台垫上，不允许直接放在非防静电的工作台面上。
- ⑥ 损坏的元器件应区分放置并做好标识，以免误用，更不允许与其他物料混装。
- ⑦ 禁止裸手直接接触可焊表面，避免人体分泌的油脂和盐分会降低其可焊性或引起腐蚀。

3.3.5 质量控制

(1) 质量控制点的设立

元器件成型后应设立质量监控点，采用抽验方式进行质量监控。

(2) 质量控制方法

① 首 5 件必检制。

每批元器件成型首 5 件必须由质检人员进行严格检验认证后，才可进入批量成型操作。

② 抽检。

每批元器件加工完毕后，由质检人员依加工数量的大小进行抽验，抽样方法如下。

- 数量大于 250 时，按 GB/T 14437《产品质量监督计数一次抽样检验程序及抽样方案》的规定进行。
- 数量小于或等于 250 时，按 GB/T 15482《产品质量监督小总体计数一次抽样检验程序及抽样表》的规定进行。



3.4 PCB板组装前预加工通用工艺规范

3.4.1 PCB预加工的作用

PCB 预加工的工序包括粘贴高温胶纸、粘贴生产标签、机械安装、PCB 装箱周转等，主要作用是为 PCB 的组装加工进行生产准备，保证 PCB 的可制造性和生产质量。

3.4.2 操作程序

(1) 粘贴高温胶纸

① 作用。

防止单板上有特殊要求的插装孔或缺料元器件孔在波峰焊接过程中被波峰焊料堵塞，导致后工序操作困难。

② 粘贴高温胶纸的位置。

- 粘贴位置应按相应的产品工艺文件所标示的位置和区域操作。
- 因缺料而导致需在焊接后再补插装元器件的 PCB 单板，要求焊接前在焊接面对应位号的安装焊盘上贴胶纸。
- BGA 安装焊盘范围内的所有过孔，在焊接面如果没有用绿油掩膜时，则必须用胶纸把过孔贴盖住。

③ 粘贴高温胶纸的要求。

- 准确、牢靠、无遗漏。
- 高温胶纸不能盖住位号丝印框、位号标识、方向标识和相邻元器件的安装焊盘。
- 不允许划伤 PCB 板。
- 有贴片元件的单板，贴高温胶纸时不允许撞掉、撞坏贴片元器件。

(2) 贴生产标签

① 作用。

规范单板制造过程中生产标签的贴装工艺。

② 生产标签的种类。

- 板名标签：因区分单板名称的需要而要求粘贴的标签。
- 条码：表明该板的身份代码。
- 特种标签：如 IC 标签、合格标签等。

③ 标签贴装总要求及注意事项。

- 要求标签上字迹清晰、端正，字体、字高要协调一致。
- 贴标签时需佩戴测试合格的防静电手环（接上地线），用刀片取下标签按贴装要求贴在 PCB 板的相应位置上。
- 标签应尽量靠近板名，要求所有生产标签应尽可能地贴成一条直线，且距同一板边



2mm 以上。

- 生产标签一定不能遮住 PCB 上的丝印文字、线路、焊点和过孔。
- 生产标签一般要求贴在 PCB 板的元器件面，应尽量避免面板和连接器的位置，不得被其他元器件压住。
- 同一单板的生产标签贴装方向、位置必须完全一致，要求贴装端正，无歪斜、破裂、漏贴等现象。

3.4.3 存放与周转

(1) 作用

规范 PCB 的存放和周转操作，保证 PCB 的存放和周转操作符合生产要求和品质保证。

(2) 场地防护与安全要求

① PCB 的包装、操作和转运区应避免设置在大功率辐射源电磁场、强静电、强磁场或放射场附近。

② 物流通道和人流通道应分道，并有识别标识。

③ 保持工作台干净整洁，符合相关防静电标准。

(3) 作业基本要求

① PCB 在操作、包装、存放、运输过程中要严格按照防静电的要求做好产品的防静电防护工作。

② 接触 PCB 时需要戴干净的防静电手套或指套，避免 PCB 表面污渍，禁止用裸露的手或手指接触要焊接的表面。

③ PCB 装卸、装箱和生产操作需要轻拿轻放，严禁扔板、敲板、叠板和撞板等操作行为损坏 PCB。

3.5 PCB板机械组装通用工艺规范

3.5.1 名词定义

机械组装：用螺钉、螺母、垫片、夹子等紧固件以及采用胶粘、扎线、铆接、连接器压接等机械手段在 PCB 板上安装固定元器件的工艺过程。

3.5.2 机械组装的可接受条件

(1) 铆装件安装基本要求

铆接头的翻边应呈喇叭口形，翻边四周必须均匀，喇叭口中心和穿孔中心必须同心。



铆接头不能有裂口、裂缝或其他断裂现象，以致造成在焊接过程中的各种助剂、油脂、印料和其他液体流入安装孔内。

喇叭口翻边不能有环形方向的裂口或裂纹，可以允许有径向裂口或裂纹，但最多不超过3个，相互间隔应大于 90° ，并且开裂程度还未延伸到铆钉的孔壁。

(2) 接线柱基本要求

铆装接线柱时，要保持直立、平稳，在插孔内用手可以自由转动，铆装后和焊盘焊接在一起。

(3) 紧固件安装基本要求

用于提供电气连接的螺纹紧固件必须拧紧，以确保可靠的电气连接。当使用开口的环形锁紧垫片时，螺纹紧固件要紧紧压平锁紧垫片。若有要求，紧固件应拧紧至指定的最小扭矩。

螺纹露出螺母的长度如下。

① 最小为 $(1\sim 1.5)\text{ mm}$ 螺纹，若紧固后露出的丝扣会接触到导线和元件，或者采用了锁紧机制，螺钉或螺栓末端才可与螺帽齐平。

② 伸出部分不影响相邻部件，且最小电气绝缘距离得到满足的条件下时，可按下述要求处理。

- 小于 25 mm 的螺钉，应小于或等于 $3\text{ mm} + (1\sim 1.5)\text{ mm}$ 螺纹。
- 大于 25 mm 的螺钉，应小于或等于 $6.3\text{ mm} + (1\sim 1.5)\text{ mm}$ 螺纹。

(4) 元器件安装基本要求

电子组件的元器件安装不能妨碍装配工具伸入或退卸。

安装件与周围导电焊盘、元器件引脚、非绝缘元器件之间的距离不得小于指定的最小电气间隙。

黏结剂用量应足以固定黏结器件，但不能盖住或封住它们的标记。

3.6 PCB板插装元器件通用工艺规范

3.6.1 名词定义

- 弯月形涂层（元器件）：指元器件引线与灌封或模塑材料封装体间所形成的弯月形涂层，其封装材料有陶瓷、环氧材料或其他合成物以及模塑器件。
- 支撑孔：孔壁有镀层（即金属化）孔。
- 非支撑孔：孔壁无镀层（即未金属化）孔。



3.6.2 元器件位向及安装的可接受性条件

1. 位向要求

(1) 水平安装时

① 优选，如图 3.60 所示。

- 元器件居中放置在两焊盘之间。
- 元器件的标识清晰。
- 无极性元器件要尽可能依识别标记的读取方向（从左至右、从上至下）放置，并尽可能保持一致。

② 可接受，如图 3.61 所示。

- 极性元器件和多引脚元器件的放置方向正确。
- 极性元器件在预成形和手工组装时，极性标识符要清晰且明确。
- 所有元器件按照标识的位置正确安装。
- 无极性元器件未依据识别标记的读取方向一致放置。

③ 拒收，如图 3.62 所示。

- 未按规定选用正确的元器件。
- 元器件未安装在正确的孔内。
- 极性元器件方向安装错误。
- 多引脚元器件放置的方向错误。

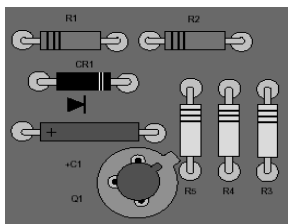


图 3.60 优选

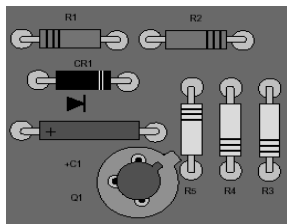


图 3.61 可接受

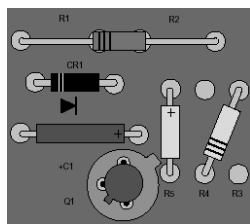


图 3.62 拒收

(2) 垂直安装时

① 优选。

- 无极性元器件的标识应尽可能从上至下读取，如图 3.63（左）所示。
- 极性元器件的标识应尽可能在元器件的顶部，如图 3.64（右）所示。

② 可接受。

- 标有极性元器件的地线较长，如图 3.64 所示。
- 极性元器件的标识不可见。
- 无极性元器件的标识从下向上读取，如图 3.64（左）所示。

③ 拒收。

极性元器件的方向安装错误，如图 3.65 所示。

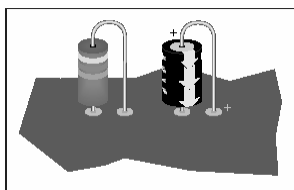


图 3.63 优选

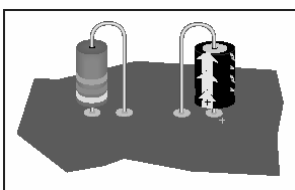


图 3.64 可接受

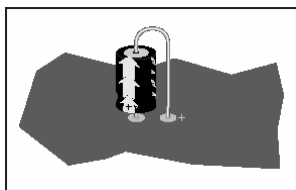


图 3.65 拒收

2. 安装要求

(1) 轴向引脚水平安装时

① 可接受。

- 贴板安装：元器件与 PCB 板平行，元器件本体与 PCB 板面完全接触，如图 3.66 示。
- 离板安装：元器件距离 PCB 板面最少 1.5mm，如图 3.67 和图 3.68 所示。
- 元器件体与 PCB 板之间的最大距离 $D > 0.7\text{mm}$ ，如图 3.69 所示（制程警示）。

② 拒收。

由于设计需要而高出板面安装的元器件，与板面间距小于 1.5mm。

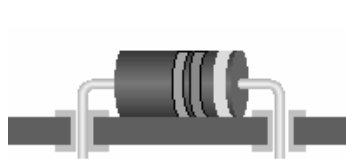


图 3.66 贴板安装

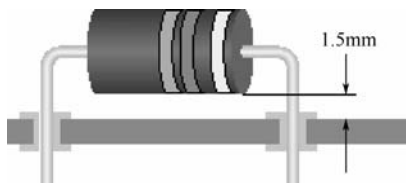


图 3.67 离板安装

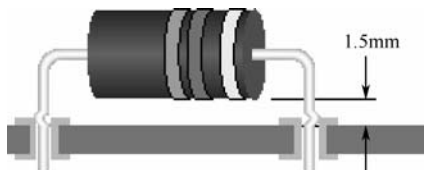


图 3.68 离板安装



图 3.69 制程警示

(2) 径向引脚水平安装时

① 可接受。

- 元器件本体与 PCB 板面平行且充分接触（优选），如 3.70 所示。
- 元器件至少有一边或一面与 PCB 接触，如图 3.71 所示。

② 拒收。

- 无须固定的元器件本体没有与 PCB 安装表面接触；
- 在需要固定的元器件没有使用固定材料，如图 3.72 所示。



图 3.70 可接受



图 3.71 可接受



图 3.72 拒收



(3) 轴向引脚支撑垂直安装时

① 可接受。

- 元器件到焊盘之间的距离 H : $0.4\text{mm} < H < 1.5\text{mm}$, 如图 3.73 所示。
- 元器件应与板面垂直, 或引脚倾斜角度 (θ) 满足最小电气间隙要求, 如图 3.74 所示。
- 元器件总高度不超过规定的范围。

② 拒收。

- 元器件不满足最小电气间隙要求, 如图 3.75 所示;
- 元器件引脚弯曲内径如图 3.76 所示, 不符合如表 3.8 所示的规定。

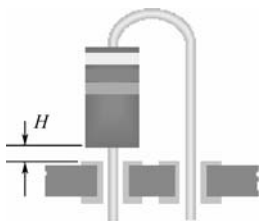


图 3.73 可接受之一

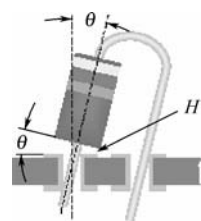


图 3.74 可接受之二

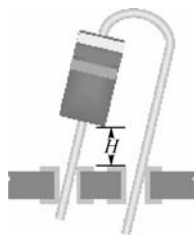


图 3.75 拒收之一

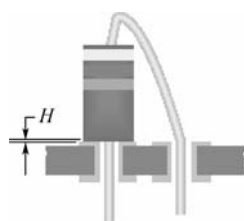


图 3.76 拒收之二

表 3.8 引脚弯曲内径的规定

| 引脚直径 (D) 或厚度 (T) (mm) | 引脚内侧弯曲半径 (R) (mm) |
|-------------------------------|-----------------------|
| <0.8 | $1 \times D$ 或 T |
| $0.8 \sim 1.2$ | $1.5 \times D$ 或 T |
| >1.2 | $2 \times D$ 或 T |

(4) 径向引脚元器件限位垂直安装时

① 可接受。

- 限位装置与元器件和板面完全接触, 如图 3.77 所示。
- 引脚恰当弯曲, 如图 3.78 所示。

② 拒收。

- 限位装置与元器件和板面部分接触, 如图 3.79 所示。
- 间隔装置与无器件和板面不接触, 如图 3.80 所示。
- 引脚弯曲不当, 如图 3.81 所示。

限位装置倒装, 如图 3.82 所示。



1—限位装置; 2—接触部位

图 3.77 可接受之一

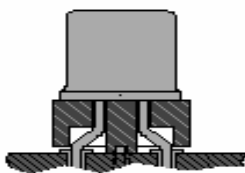


图 3.78 可接受之二

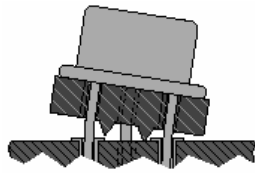


图 3.79 拒收之一



图 3.80 拒收之二



图 3.81 拒收之三

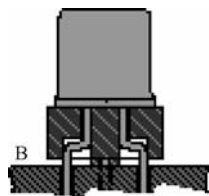


图 3.82 拒收之四

(5) 有弯月形封装涂层径向引脚元器件垂直安装时

① 可接受。

元器件的弯月形封装涂层与焊接区之间有明显的距离，如图 3.83 所示。

② 拒收。

元器件的弯月形封装涂层被安装到焊接孔内，如图 3.84 所示。

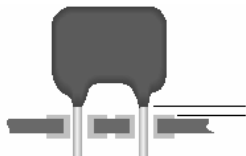


图 3.83 可接受



图 3.84 拒收

(6) (DIP) / (SIP) 元器件引脚与插座

① 可接受。

- 所有引脚台肩紧靠焊盘，如图 3.85 所示。
- 引脚伸出长度符合规定要求，元器件倾斜不超出元器件高度的上限，如图 3.86 所示。

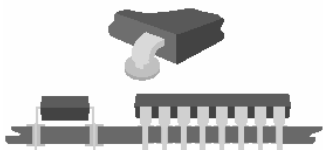


图 3.85 可接受之一

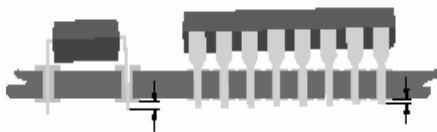


图 3.86 可接受之二

② 拒收。

元器件倾斜超出元器件高度的上限，或引脚伸出长度不符合要求，如图 3.87 所示。

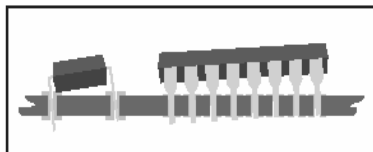


图 3.87 拒收

(7) 连接器

① 可接受。

- 连接器与板面紧贴平齐，如图 3.88 所示。



- 连接器引脚的针肩支撑于焊盘上，引脚伸出焊盘的长度符合规定。
- 定位销要完全插入并扣住 PCB。
- 当连接器倾斜时，必须有一边与板面接触，而另一边与 PCB 板面的距离小于或等于 0.5mm。连接器倾斜度、引脚伸出的长度和元器件的高度符合标准规定，如图 3.89 所示。

② 拒收。

- 由于连接器倾斜，与之匹配的连接器的无法插入。
- 连接器高度不符合标准规定。
- 定位销未完全插入并扣住 PCB。
- 引脚伸出焊盘的长度不符合规定要求，如图 3.90 所示。

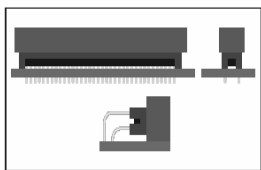


图 3.88 可接受之一

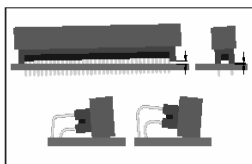


图 3.89 可接受之二

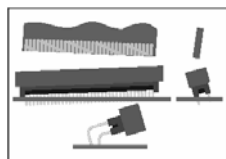


图 3.90 拒收

(8) 引脚跨越导线

① 可接受。

- 绝缘套管不能接触焊点，如图 3.91 中的 (A) 所示。
- 绝缘套管覆盖需保护的区域，如图 3.91 中的 (B) 所示。

② 拒收。

- 绝缘套管裂口或断裂，如图 3.92 中的 (A) 所示。
- 与不同电位导线交叉的引脚与导线间距小于 0.5mm 且无绝缘体隔离，如图 3.92 (B) 所示。

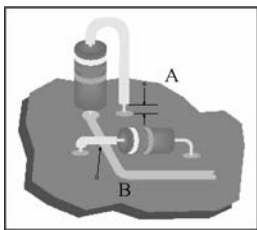


图 3.91 可接受

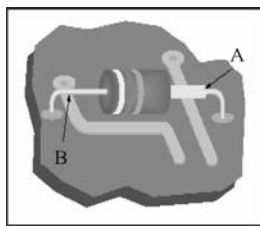


图 3.92 拒收

3.7 焊膏印刷通用工艺指南

3.7.1 名词定义

(1) 焊膏

焊膏是一种均质混合物，它由一定比例的焊料合金金属粉、糊状助焊剂和一些添加剂混



合而成的具有一定黏性和良好触变性的膏状体。在常温下,焊膏可将电子元器件粘贴在既定位置,当被加热到一定温度时随着溶剂和部分添加剂的挥发、合金粉的熔化,而使被焊元器件端子和焊盘连在一起,形成永久的连接焊点。

(2) 焊膏印刷

焊膏印刷是通过自动化设备按预定程序将一定量的焊膏涂敷到 PCB 相应焊盘上的工艺过程。

3.7.2 影响焊膏印刷工艺参数的主要因素及其控制

1. 焊膏印刷质量对确保 PCB 安装质量的重要意义

在 SMT 再流焊接中,焊膏用于 SMC/SMD 的引脚或端子与焊盘之间的连接。在一块典型的 PCB 上,可能有成百上千个元器件,数千个连接点(即焊盘)。因此,这些连接点的焊接不合格率必须维持在一个最小的水平上。国外有文献报导:PCB 不能通过测试而需要返工的有 70%左右是由于焊膏印刷质量差造成的,它是许多 PCB 安装缺陷的形成原因,缺陷还往往呈复合性,特别是当使用密间距时尤为突出。

Robert Kelley 和 David Clark 认为:焊膏印刷工艺是 SMT 的脊椎骨,一个焊点强度的最可靠预报值之一就是其形状。焊点的正确形状,即弯液面(Meniscus),应有保证强度和应力释放的足够大的横截面积,而焊点形状的最好预测值之一是焊膏的印刷量。如果焊盘焊膏量太少,那么它最可能将造成一个薄弱的焊点。另一方面,焊膏过多又可能导致桥连。

焊膏印刷是引发相邻引脚之间桥连,焊点焊料不足、空洞、开路等现象的主因。因此,国外许多专家都认为:焊膏印刷是 SMT 中最终焊点质量控制的关键过程。

影响焊膏印刷质量的变量主要是印刷机,焊膏的颗粒大小和黏度,刮刀的类型、材料、硬度、速度和压力,模板开孔和从 PCB 上的分离(密封效果),阻焊层的平面度和元器件的平面性等。

2. 焊膏印刷的关键要素

在焊膏印刷中有 3 个关键的要素,国外专家们将其归纳为 3 个 S:即焊膏(Solder paste)、模板(Stencils)和印刷刮板(Squeegees)。这 3 个要素的正确结合是持续保持印刷质量的关键所在。

(1) 焊膏(1S)

1) 焊膏分级

焊膏是焊料合金粉珠和助焊剂的结合物,助焊剂的功能是在再流(Reflowing)焊的第一阶段,除去元器件引脚、焊盘和焊料球上的氧化物。这个阶段在 150℃左右持续大约 3 分钟。有铅焊膏通常是铅、锡和银的合金(而无铅焊膏则包含锡、银和铜)。在再流焊的第二阶段,大约在 220℃时回流。银和助焊剂都起到帮助熔化焊料和改善湿润以达到回流的作用。

焊膏是按照焊料球的大小来分级的。随着元器件的微小型化,焊膏中的焊料粉末颗粒度



随之由原来的 $40\sim 60\mu\text{m}$ 发展到目前的 $20\sim 25\mu\text{m}$ ，以适配于高密度组装的发展需要。根据颗粒度的大小，焊膏通常分成如下的 3 个级别。

- 3 号： $25\sim 45\mu\text{m}$ 。
- 4 号： $20\sim 38\mu\text{m}$ 。
- 5 号： $15\sim 25\mu\text{m}$ 。

2) 三球定律

三球定律为生产提供了一个选择焊膏印刷模板的简单公式，焊膏中焊料球的大小必须与印刷模板相匹配，具体操作如下所述。

① 经验公式。

如图 3.93 所示为印刷模板开口及焊料球的截面图。

- 至少有 3 个最大直径的焊料球能垂直地排列在印刷模板的厚度方向上。
- 至少有 3 个最大直径的焊料球能垂直地排列在印刷模板的最小孔的宽度方向上。
- 至少有 3 个最大直径的焊料球能水平地排列在印刷模板的最小孔的长度方向上。

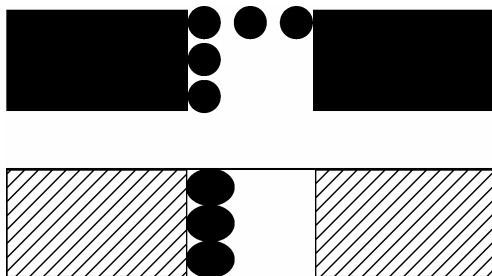


图 3.93 三球定律

计算时，焊料球是采用米 (m) 来度量的，而印刷模板厚度的工业标准是美国的专用单位 thou (英毫)，它们之间有如下关系：

$$1\text{thou}=1\times 10^{-3}\text{in}=25.4\mu\text{m}$$

② 尺寸的确定。

根据三球定律我们可以得出焊膏类型、最大的焊料球尺寸和最接近的模板厚度之间的关系如表 3.9 所示。

表 3.9 三者之间的关系

| 焊膏类型 | 最大的焊料尺寸 (μm) | 最接近的模板厚度 (μm) |
|------|---------------------------|----------------------------|
| 3 号 | 25~45 | 135 |
| 4 号 | 20~38 | 114 |
| 5 号 | 15~25 | 75 |

模板开口尺寸是由元器件引脚间距决定的，焊盘尺寸一般取引脚间距的一半，而模板开口尺寸通常比焊盘尺寸稍小一点 (约 10%)，而焊膏的选用必须满足模板上最小的开孔要求。

$$\text{焊粉粉末直径} = \text{最窄开口宽度} / 4$$

若按上述公式可求得元器件的引脚间距与焊膏类型的关系，如表 3.10 所示。



表 3.10 引脚间距与焊膏类型的关系

| 元器件最小引脚间距 (mm) | 模板最小开孔 (μm) | 合适的焊膏类型 |
|----------------|--------------------------|---------|
| 0.4 | 180 | 3 |
| 0.3 | 135 | 4 |
| 0.2 | 90 | 5 |

因此,印刷模板的厚度通常是决定因素,大多数应用是选择标准的 $152.5\mu\text{m}$ (6thou) 厚的印刷模板和 3 型焊膏。

3) 黏度

黏度是焊膏的一个重要特性,从动态方面来说,在印刷行程中,其黏性越低,则流动性越好,易于流入模板孔内而印到 PCB 的焊盘上。从静态方面考虑,印刷时刮过后焊膏停留在模板孔内,其黏性高,则易保持其填充的形状而不会往下塌陷,这一点对已印刷在焊盘上而等待贴片的焊膏尤为重要。

焊膏在其容器罐内的黏度,标准值为 $500\sim 1200\text{kps}$,理想的用于模板印刷的典型值为 800kps 。

(2) 模板 (2S)

模板的主要功能是帮助焊膏的沉积,是将数量准确的焊膏转移到 PCB 板的确定位置上。“好的模板能得到好的印刷结果,再加上自动化的帮助就能实现其结果的可重复性。”因此,模板的制备不仅是 SMT 组装工艺的第一步,它也是最重要的一步。

金属模板是目前在焊膏印刷机上大量使用的,其组成是在薄金属板上开有小孔,焊膏从中印出。它解决了网印沉淀物无规律的问题,不要求有丝印刮板的泵作用,也不要求模板与 PCB 之间有间隙,因为焊膏可以很容易地流过开孔。

(3) 刮板 (3S)

使用金属模板时,焊膏在刮板的前面滚动,无须泵作用即可流入开孔内,然后刮去多余焊膏,在 PCB 焊盘上留下与模板一样厚的焊膏。不需要刮板的变形,因此可以使用较硬的刮板(即 80~85、硬、蓝色)或者金属刮板。

刮板硬度与压力必须协调,如果压力太小,刮板将刮不干净模板上的焊膏,如果压力太大或刮板太软,那么刮板将沉入模板上较大的孔内将焊膏挖出。

在控制较好的情况下,利用聚乙烯刮板可以达到非常好的效果,而金属刮板在生产中也是很好的,它有很直的边线,使用前无须调整,还可克服聚乙烯刮板所易产生的问题。金属刮板不适用于乳胶丝网,因为它会造成丝网的过度磨损,并且没有泵焊膏的作用。相对于聚乙烯刮板 3~9 个月的寿命来说,金属刮板的寿命是无限的。

虽然金属刮板的整个刀片有短暂的柔性来接纳变形翘起的 PCB,但其边不易变形而沉入开孔内,这就使它具有下述几个优点。

① 不管开孔的大小如何,在较大的压力范围 ($4\sim 15\text{ kgf}$, $1\text{ kgf}=9.8\text{N}$) 都可得到好的印刷效果。

② 0.15mm 厚的模板决定了印刷厚度也是 0.15mm ,这就避免了因操作员和其他条件的



不同而产生的变化。

③ 可靠的印刷质量是特别重要的,因为表面贴附元器件的共平面度允许误差是 0.1mm,所以印刷厚度必须小于 0.127mm。

④ 由于金属模板和金属刮板印刷出的焊膏很饱满,其印刷厚度可以通过减少模板的厚度来调节。但最好是通过减少开孔的长(微调)、宽尺寸的 10% 左右来调节,以减少焊盘上焊膏的面积,这样就意味着焊盘的定位变得不很敏感。模板与焊盘之间的密封得到改善,减少了焊膏在模板底面和 PCB 之间的“炸开”现象,从而可以减少印刷模板底面的清洁次数,即可由每 5~10 次印刷清洁一次,减少到每 50 次印刷才清洁一次。

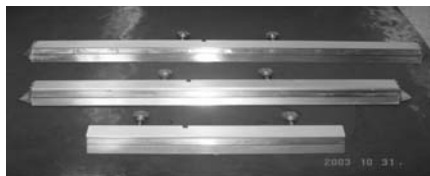


图 3.94 金属合金刮刀

⑤ 金属合金刮刀,常用长度规格主要有 250mm、350mm、400mm、480mm,如图 3.94 所示。

3. 印刷参数的选择和设定

(1) 物料准备

- 领取焊膏时需检查焊膏是否过期,解冻时间是否充分。
- 检查使用中的焊膏是否超过有效期(有效期 24 小时)。
- 清理钢网非印刷区域和刮刀两边的焊膏。

(2) PCB 洁净处理

单板在印刷焊膏之前,应采用专用的洁净滚筒和带黏性的纸相配合,以除去 PCB 板面上的颗粒状污染物。

(3) 压力的经验数据

在金属模板上使用金属刮板,为了探索印刷所需的较佳压力,开始时可按每 50 mm 的刮板长度上施加 1 kgf 压力。例如,300 mm 的刮板施加 6 kgf 的压力,然后再逐步减小压力,直到某一次刮刀经过后焊膏在钢网上留下一薄层;然后慢慢地再增大压力,直到刮刀每次经过后,钢网上刮刀工作区域所有焊膏都被刮干净。一般降低刮刀速度,刮刀压力也可相应减小,反之亦然。刮刀宽度与印刷压力的关系可参考表 3.11。

表 3.11 刮刀宽度与印刷压力的关系

| 刮刀宽度 (mm) | 刮刀印刷压力 (kgf) |
|-----------|--------------|
| 250 | 5±1 |
| 350 | 7±1 |
| 400 | 8±1 |
| 480 | 9±1 |

(4) 印刷速度的经验公式

焊膏印刷期间,刮板在模板上的行进速度是很重要的,因为焊膏需要时间来滚动和流入



开孔内。如果允许的时间不够，那么在刮板的行进方向上，将导致焊膏在焊盘上印刷的平整度变差。当速度低到 20mm/s 时，刮板可能在少于几十毫秒的时间内刮过小的开孔。对 PCB 上密间距元器件引脚长度的每 0.025mm，可以允许的最大速度为 1 mm / s。引脚间距、最小开孔尺寸和最大印刷速度的配合关系可参考表 3.12。

表 3.12 引脚间距、最小开孔尺寸和最大印刷速度的配合关系

| 最小引脚间隙（mm） | 最小开孔尺寸（mm） | 最大印刷速度（mm/s） |
|------------|------------|--------------|
| 1.27 | 0.625 | 50 |
| 0.625 | 0.31 | 25 |
| 0.4 | 0.2 | 16 |

在生产实践中可视具体情况，按下述原则进行调控。

- ① 一般速度偏慢的印刷形状较好，在不影响生产线效率的情况下尽可能慢速印刷。
- ② 刮刀的印刷速度应由低往上调，低速印刷使得刮刀有足够长的时间把焊膏填入网板缝隙中。无论如何应使刮刀速度足够小，以保证刮刀能滚动焊膏。
- ③ 细间距（引脚间距小于或等于 0.5mm）需要慢速印刷，其速度范围常取 10~25mm/s。
- ④ 一般情况印刷速度可在 20~60mm/s 之间取值。
- ⑤ 印刷速度可能会制约生产线效率，当印刷速度无法跟上其他生产设备速度时可适当加快印刷速度，同时应调整相应印刷压力，但必须加强对焊膏印刷质量的检查，以不影响印刷质量为前提。

（5）刮刀印刷角度

一般刮刀角度范围为 45° ~75° ，推荐使用角度为 60° 的刮刀。

（6）刮刀印刷行程距离

为了保证焊膏进入网孔时有合适的黏度，要求焊膏先滚动三圈，故空行程距离（L）可按参照下式计算求得。

$$L=3\times\pi\times D$$

式中：L 是滚动距离（mm）；D 是焊膏高度（mm）。

若控制焊膏高度为 13mm，则空行程距离约为 120mm。

（7）刮刀宽度

刮刀宽度的确定应根据 PCB 的宽度来选择，如表 3.13 所示。

表 3.13 刮刀宽度

| 刮刀宽度（mm） | 适用 PCB 宽度（mm） |
|----------|---------------|
| 250 | 50~200 |
| 350 | 200~300 |
| 400 | 300~350 |
| 480 | 350~430 |



(8) 分离速度

- 根据 PCB 的引脚间距来设定分离速度，推荐的分离速度如表 3.14 所示。
- 在设定分离速度时一定要保证有效的分离距离，一般要求分离有效距离为 0.5~2mm。

表 3.14 推荐的分离速度

| 引脚间距 (mm) | 推荐的分离速度 (mm/s) |
|-----------|----------------|
| <0.3 | 0.5~1 |
| 0.4~0.5 | 1~2 |
| 0.5~0.65 | 1~4 |
| >0.65 | 2~8 |

(9) 印刷厚度

厚度的微量调整一般通过调节刮刀速度和压力来实现，加大印刷压力和增大印刷速度能使焊膏厚度微量减小。焊膏厚度要求，建议的可接受范围如下。

$$90\% \times H \leq T \leq 120\% \times H$$

式中： H 为钢网厚度； T 为焊膏厚度。

(10) 印刷支撑

在理想的刮刀速度及压力下应正好把焊膏从模板表面刮干净。在实际操作中，因为印制基板上的挠曲、起伏等因素会影响焊膏印刷的均匀性，为尽量消除这种影响，采用支撑顶杆的方式对基板定位。

印刷支撑顶针的设置要求使刮刀经过钢网后印刷区域没有残留焊膏，PCB 上焊膏厚度一致。

设置顶针时应避免顶到元器件。

厚度较薄或采用了拼板形式的 PCB，可根据需要采用专用夹具来保证支撑的效果。

(11) 基准点识别模式

基准点设置必须与 PCB 和钢网上的基准点一致。

(12) 印刷闲置或印刷时间

为了保证焊膏黏度要求，操作中应注意下述问题。

- 停机超过 15 分钟要求重新调整机器参数，并对前 5 块板重点控制。
- 超过 20 分钟应重新调整机器参数，并用保鲜膜裹住 PCB 试印。超过 30 分钟要求重新清洗钢网，同时要将焊膏铲起并密封保存。

(13) 擦网要求

- 自动擦网或手工擦网后，必须待清洁溶剂挥发完全后，方可恢复印刷生产。
- 擦网方式优先推荐使用湿洗→干洗→真空，次选干洗→湿洗→真空。在生产中也可



根据实际擦洗效果改变擦网方式。

- 擦网频次根据实际擦网效果设定，一般推荐每 10 块左右清洗 1 次。
- 自动擦网无法将钢网底部残留焊膏清洗干净时，退出钢网进行手工擦洗。
- 对于大表面镀金或者对上焊料有严格控制要求的单板，应适当增加手工擦网的频次，并注意检查。

(14) 焊膏滚动高度

随着滚杆直径变小，印刷焊膏量会减少，当无法达到稳定的印刷状态时，必须对焊膏滚动高度进行严格控制。

焊膏滚动高度为 10~15mm。

在印刷过程中要经常观察焊膏滚动高度，添加焊膏的原则是少量多次，即每次添加焊膏量要使焊膏滚动高度在要求范围内。

(15) 焊膏黏度要求

采用 Malcom 量测：在 $25^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，10r/m 时，黏度的合格范围为 150~250kcps。

生产过程中如怀疑焊膏黏度过大而发生印刷缺陷时，由质量人员进行检测。

在应用中一种实际和经济的判断焊膏是否具有正确黏度的方法：用刮勺将容器罐内的焊膏搅拌约 30s，然后挑起一些焊膏，高出容器罐 75~100mm，让焊膏自行往下滴，开始时应该像稠的糖浆一样滑落而下，然后分段断裂落到容器罐内。如果焊膏不能滑落，则太稠；而一直落下没有断裂，则太稀，黏度太低。

(16) 印刷不良单板的处理

对于印刷不良的单板要在 30 分钟内清洗。

清洗机清洗：采用超声波清洗机清洗，清洗方法应根据相应的超声波清洗机的规定进行。

手工清洗：先用铲刀将单板上的焊膏铲干净，再用无尘纸蘸上酒精或清洗剂轻轻擦拭后，用气枪吹掉剩下的小焊膏残留物，清洗完毕让 PCB 板自然晾干后方可再生产。

3.8 SMT 电子元器件贴装通用工艺规范

3.8.1 名词定义

1. 贴装

采用手动、半自动、自动等方式将 SMC/SMD 从供料器中拾取并贴放到印制板表面规定位置上的操作过程。

2. 贴装精度

贴装机贴装表面组装元器件时，元器件焊端或引脚偏离目标位置的最大偏差，包括平移偏差和旋转偏差，统称贴装精度。



3.8.2 SMC/SMD贴装的通用要求

1. PCB 的定位

必须使用光学识别方式进行 PCB 的定位。

2. PCB 的支撑

根据具体情况可使用下列方式对 PCB 进行支撑。

- 磁顶针：用于 PCB 板厚度大于 1.0mm 的单面再流焊和双面再流焊的第一面。
- 气顶针：用于 PCB 板厚度大于 1.0mm 的双面再流焊的第二面。
- 专用工装：用于 PCB 板厚度 1.0mm 或以下和有特殊要求的情况。

3. 贴装程序

批量生产的贴装程序必须经过优化。

4. 送料器

根据设备供应商提供的适用 SMC/SMD 包装规格，正确选择送料器，选用原则如下。

- 根据 SMC/SMD 来料的包装形式（如盘装、卷装、管装等）。
- 根据 SMC/SMD 来料的包装材料（如纸带、胶带、黏性纸带等）。
- 根据 SMC/SMD 来料包装宽度（包装带宽度）（如 8mm、12mm、16mm、24mm、32mm、44mm 等）。
- 根据 SMC/SMD 来料包装间距（如 2mm、4mm、8mm、12mm、16mm、20mm、24mm 等）。
- 根据元器件采用的焊接工艺选择（如 POP 蘸取助焊剂/焊膏、料架）。

5. 贴片吸嘴

根据设备供应商提供的适用元器件贴装规格，正确选择贴片吸嘴，选用原则如下。

- 根据 SMC/SMD 的外形与尺寸大小。
- 根据 SMC/SMD 的质量。
- 根据 SMC/SMD 的贴装速度。
- 根据 SMC/SMD 的贴装精度。

6. 贴片元器件的找正

SMC/SMD 必须经过设备的光学识别并自动修正后方可贴装。

7. 元器件的贴装速度

在不影响 SMC/SMD 贴装质量和抛料率等的前提下，应尽量选用最接近设备的标称速度。

8. 元器件的贴装压力

元器件的贴装压力一般为 1~3N，推荐为 2N。



9. 贴装抛料率

每个 SMC/SMD 的最大抛料率应控制在 5%；平均抛料率控制在 3%。在生产过程中，若有抛料异常，应立即采取应对措施。

10. 贴装检查

SMC/SMD 贴装后应进行目视检查或 AOI 自动检查，若有必要，需使用 5 倍或 10 倍以上显微镜检查。

开始批量生产前必须进行首件板检查。检查内容主要为检查元器件是否遗漏或贴错，偏移是否可以接受，方向是否正确，有否侧立、翻转等。

3.9 面阵列封装器件底部填充工艺规范

3.9.1 名词定义

1. 底部填充

出于提高面阵列封装器件组装可靠性的目的，采取在面阵列封装器件底部注入特定胶剂并加热固化的工艺过程。

2. 底部填充胶水

用于底部填充的胶质材料通常为环氧树脂类。各供应商提供的各型号材料性能上可能有较大的差异。为确保所选用材料的综合性能符合要求，应经过严格评估后才能采用。

3. 解冻

底部填充胶剂由低温保存到常温使用中间发生的回温过程，称为解冻。这个过程需要严格按照指定的程序来做。通常解冻的标准做法是从冷藏柜中取出后，胶剂在密封状态下放置在车间环境中自然回温 4 小时以上。

因解冻后胶剂使用寿命有限（一般不超过 2 天），所以通常从开始解冻到开始使用的有关时间信息，应记录在专用标签上，并将标签贴在对应的胶剂瓶上。

3.9.2 底部填充工艺简介

1. 底部填充工艺的作用

在 PCBA 面阵列封装器件（BGA、CSP）底部采用胶料填充，其主要目的是降低由于基板与芯片模块表面之间温度膨胀系数（CTE）不匹配所产生的应力，增强 PCBA 面阵列封装器件焊点的连接强度，提高机械稳定性和增加对湿度的保护。对面阵列封装器件的底部采用胶类材料进行填充，在业界已获得了普遍的应用。



2. 底部填充基本工艺方法

(1) 传统底部填充工艺

传统的在面阵列封装器件底部填充胶的工艺,是利用在芯片与 PCB 基板间的毛细作用力对填充胶的拉扯作用而完成填充过程的。因此,再流焊后焊膏中的免清洗助焊剂的残留物会削弱填充胶的润湿与流动性能。同时这类残留物还会对封装可靠性产生负面影响。另外,必须对填充胶进行固化,这对提升生产效率也是不利的。

利用毛细作用的传统底部填充过程,如图 3.95 所示。

(2) 再流填充工艺

此工艺是近些年内发展起来的,其工艺特点是:贴片前涂敷非流动型合成助焊剂和填充胶,既消除了免清洗助焊剂残留所带来的可靠性问题,又减少甚至根除了密封剂的固化时间,提高了生产效率。采用再流填充方法的组装过程,如图 3.96 所示。

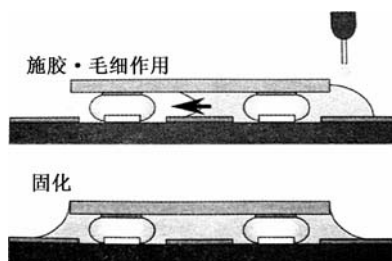


图 3.95 传统底部填充

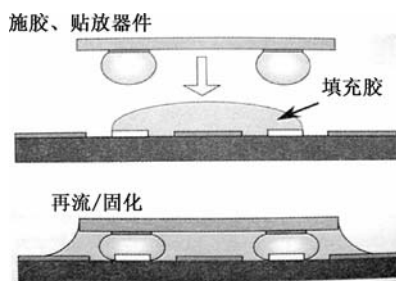


图 3.96 再流填充

为实现优质的非流动型底部填充工艺,必须对填充胶的涂敷、贴片以及组件再流焊等因素予以认真考虑。

涂敷必须覆盖形成电气接点的区域,避免在填充胶中形成多余空隙。

贴片力量必须足以将填充胶挤出,以保证焊料球与基板焊盘间形成良好接触。

必须对再流焊温度曲线进行优化,以确保填充胶固化前焊球得到再流,避免填充胶暴露于非正常的温度下。

3.9.3 底部填充操作要点

1. 应考虑的工艺因素

底部充胶的液体通常是沿着已安装的芯片模块的一边或多边滴注的,通过毛细管作用吸入到芯片与基板之间的间隙。因此,设计底部充胶工艺性能时应考虑如下因素。

① 阻焊层的表面张力。

② 阻焊层的构形(旁路孔、引脚):如阻焊层和未覆盖的旁路孔,都可能造成间隙垂直尺寸的突然改变,底部充胶是通过这个间隙流动的,因此流动的突然改变就有可能造成空洞。

③ 芯片钝化的表面能量。



- ④ I/O 构造（面积排列或周围排列）与间距。
- ⑤ 芯片模块与基板间隙尺寸。
- ⑥ 滴注的精度。
- ⑦ 基板温度。
- ⑧ 底部充胶的表面张力。
- ⑨ 底部充胶的黏性。
- ⑩ 底部充胶在工艺温度下的胶凝时间。

2. 注胶：使用 I&J2300、C&D3000、C&D4000

- ① 将需注胶的单板的夹具用螺钉固定，夹具必须与底座平面保持平行。
- ② 分别打开加热器电源，气路电源和注胶机电源。将气压调至 (6 ± 1) bar。按 Start 键初始化机器。
- ③ 调出需生产程序，将 PCB 板放到夹具上。到第一点（观察位置是否正确），将胶水装上（注意调整 Z 轴为合适的高度），由 TEACH 模式转换成运行模式先干运行，观察注胶针头的行走轨迹，若无异常即可装上胶水并打开气路开关开始正常生产。此时观察出胶量，根据胶量的多少适当调整气压的大小。

3. 渗透

为确保胶水能渗透在整个面阵列封装器件的底部，通常采用静置或预加热的方法。施过胶的 PCB 在观察到被点胶的芯片四周都有胶水渗透后，方可过回流炉加热固化。

如果施胶时，PCB 板进行预热：预热温度一般要求为 $40^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 。温度不可过高，以避免胶水在渗透过程中发生固化现象，导致胶水反而不能完全渗透。

4. 加热固化

充分渗透后的 PCBA 一般采用加热的方法进行固化。在线固化的工艺方法目前较普遍采用的是在注胶机后，配置一台再流炉。

由于各供应商针对自己产品推荐的理想固化条件有些不同，但通常加热时间均较长，很难满足连续快速生产的需要。因此，一般情况下应参考供应商推荐的有关固化曲线，结合实际的生产条件确定出一个可以接受的固化条件。目前一般要求确保在 $120 \sim 140^\circ\text{C}$ 之间不小于 5 min。胶水固化用参考温度曲线，如图 3.97 所示。

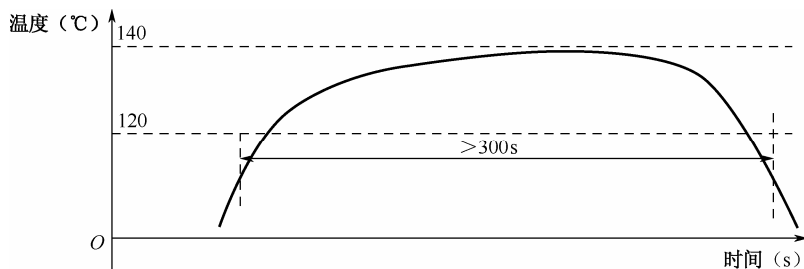


图 3.97 胶水固温度曲线



3.9.4 注胶后的质量要求

被施胶元器件的四周需完全渗透，不允许有气泡。一般要求元器件底部要完全渗透，特殊情况下可以允许胶水只渗透需要填充器件面积的 75%。

工艺上特别要求指明的部分（如金手指，芯片表面和特定元器件）不允许有胶水。

3.10 SMT贴片胶工艺规范

3.10.1 概述

SMT 贴片胶工艺是指在 SMT 阶段在 PCB 上特定位置点或者刷上特种胶黏剂，然后将贴片元器件黏附到 PCB 上的工艺过程，贴片胶黏附的元器件需要在波峰焊阶段完成焊接。

3.10.2 名词术语

- ① 贴片胶：应用于表面组装的特种胶黏剂，又称为表面组装用黏结剂。
- ② 热固化：贴片胶点胶并贴片后，PCBA 经过再流炉时，在再流焊接温度作用下，加热而固化的过程。
- ③ 光固化：贴片胶点胶并贴片后，PCBA 经过再流炉时，由再流炉产生的 UV 光加热而固化的过程。
- ④ 止动高度：指当 SUPPORT PIN（定位顶针）顶到 PCB 时，点胶嘴针头点胶后离开 PCBA 的最大距离。

3.10.3 点胶 / 刮胶生产工艺流程

典型点胶/刮胶生产工艺流程为：

点胶/刮胶 → 贴片 → 固化 → 检验 → 转波峰焊接

3.10.4 材料

1. 胶水

SMT 贴片胶材料通常是红色的，因此 SMT 贴片胶一般又称为红胶，是单一组分常温储藏受热后迅速固化的环氧树脂胶黏剂，比较有名有乐泰（Loctite）、贺利氏，国产的有同方等。

红胶需要在 0~10℃ 低温下保存。红胶使用应遵循先进先出的原则。

红胶的质量通常用黏度衡量，可采用 Malcom 量测：在 25℃±0.5℃，10r/m 时，黏度的



合格范围为 100~150Pa·s。生产过程中若怀疑胶水黏度不符而发生点胶缺陷时由质量人员进行检测。

2. 辅料

- ① 清洗剂：如工业酒精、异丙醇等。
- ② 无纺布：要求干净，无碎屑。

3.10.5 施胶工艺过程控制和管理

1. 控制和管理内容

正确的施胶工艺过程控制和管理，对确保施胶质量关系重大，施胶工艺控制和管理内容如表 3.15 所示。

表 3.15 施胶工艺控制和管理内容

| 内 容 | 维 护 内 容 | 周 期 |
|------------|--|-------------|
| 胶水的使用监控 | 领取胶水时需检查胶水是否过期，解冻时间是否足够 | 每次领取胶水时 |
| | 检查使用中的胶水是否超过有效期（有效期 48 小时） | 每 4 小时 |
| | 胶管中胶量是否过少 | 每 20 分钟观察一次 |
| | 胶管中的胶水是否混有气泡 | 每次领用胶水时 |
| | 胶管中的胶水颜色是否明亮 | 每次领用胶水时 |
| | 胶管中的胶水是否混有悬浮颗粒 | 每次领用胶水时 |
| 点胶机的实时工作状态 | 传送链条、轨道是否平稳 | 随时观察并反馈 |
| | PCB 定位夹紧机构是否完好 | 随时观察并反馈 |
| | 上板机操作是否正确 | 转机和上板时 |
| | 轨道过渡段是否和点胶机连接良好 | 随时观察并反馈 |
| | 清洁工作台上的干胶水和其他脏污 | 交接班和转机时 |
| | 轨道皮带是否松动 | 随时观察并反馈 |
| | 清洁轨道和 PCB 夹片 | 每天 1 次 |
| | 清洁顶针及检查顶针的工作高度与动作灵活性 | 每天 1 次 |
| 针嘴状态监控 | 点胶针嘴中是否有脏污 | 每次拆装点胶头时 |
| | 点胶针嘴的清洗保养（拆下点胶头用清洗剂清洗并用风枪吹干净）及胶圈的保养（用酒精清洗、擦洗，严禁泡洗） | 每次更换新胶水时 |
| | | 更换胶水牌号时 |
| | | 交接班时 |
| 点胶机参数 | 检查点胶机参数设置是否按照工艺要求 | 转机时 |
| | 顶针是否正确配置 | 转机时 |
| 其他 | 过期胶水严禁再使用 | |

2. 注意事项

- ① 大管胶水灌装进注射胶管时不能灌装太满，应在容积的 2/3 内。
- ② 取出胶水后，胶水应在室温和密闭状态下回温 8 小时以上方可使用。
- ③ 对前 5~10 块单板采取措施进行控制，保证点胶质量的稳定，然后方可批量生产。



- ④ 生产过程中每 20 分钟对点胶质量及点胶效果进行检查。
- ⑤ 点胶不良的 PCB 必须按照要求先用清洗剂进行清洗，再用风枪吹干净。
- ⑥ 参照胶水供应商的推荐和元器件的耐热性能等因素进行胶水固化温度曲线的设定。
- ⑦ 点胶完成的 PCB 必须在 2 小时内贴装元器件并进行固化。

3.10.6 施胶工艺参数设置和优化

1. 点胶

点胶机的参数设置主要是为了更好地控制点胶量的大小，适当的点胶量是点胶工艺的重要指标，必须根据机器和产品的特点选择合适的参数。

(1) 胶嘴直径

胶嘴直径是指点胶嘴嘴孔的直径。考虑到贴片元器件尺寸的大小，所使用的点胶嘴直径都会比元器件尺寸稍小，这样点涂的胶量才会小于两个焊盘之间的距离。

胶嘴直径一般应达到胶点直径的 0.5 倍左右。通常的参数设置如表 3.16 所示。在实际选择时应按所生产单板中最小的元器件来选择合适的胶嘴。

表 3.16 胶嘴直径参数设置

| 元器件尺寸 | 胶嘴直径 (mm) |
|-------|-----------|
| 0603 | 0.3 |
| 0805 | 0.4 |
| 1206 | 0.4~0.6 |

如果胶嘴直径太大，点胶时排出的胶水过多，胶水会溢出到焊盘上，从而弄污焊盘。而且贴片后贴片元器件可能浸没在胶水中，导致后续波峰焊上锡不良，出现假焊、虚焊等缺陷。

如果胶嘴直径太小，则在点胶时排出的胶水不足，黏力不够，贴片时贴片元器件由于 PCB 的移动会产生移位的现象，并且由于胶水的不足会导致连接强度不够而掉件。

(2) 止动高度

止动高度根据元器件封装尺寸确定，具体参数设置如表 3.17 所示。

表 3.17 止动高度参数设置

| 元器件尺寸 机器参数 | 0603 | 0805 | 1206 | 二极管、晶体管 | SO16~28 |
|---------------|----------|----------|----------|-----------|---------|
| 止动高度 (mm) | 0.05~0.1 | 0.05~0.1 | 0.1~0.15 | 0.15~0.20 | 0.2~0.3 |

如果止动高度太小，则胶嘴和 PCB 之间的空间太小，胶水就会受压，由此当点胶嘴移动的瞬间，会出现拉丝或拖尾现象，从而弄污焊盘甚至弄污点胶嘴而影响到下面的点胶质量。

如果止动高度太大，则点涂的胶点直径就会偏小，而且胶点高度偏大，胶水会向胶嘴四周溢出，从而弄污焊盘导致假焊、虚焊等缺陷。



(3) 胶点点数

对于封装尺寸为 0603、0805、1206 等元器件，推荐采用双点，而且要点涂在贴片元器件的外侧，由此不仅能增加黏结强度，还能保证点涂的质量，当其中一个胶点出现质量问题时，还有另一个胶点起到黏结作用以保证元器件不会移位。

胶点位置应设置在贴片元器件外侧，同时还要兼顾和焊盘的相对位置。

胶点的点数要根据元器件尺寸而定，具体如表 3.18。元器件尺寸越大则所需点涂的胶点数就越多。

表 3.18 胶点数参数设置

| 元器件尺寸 | 0603 | 0805 | 1206 | SOT23 | 二极管 晶体管 | SO16~28 |
|-------|------|------|------|-------|------------|---------|
| 胶点数 | 1~2 | 1~2 | 1~2 | 1~2 | 1~2 | 2~4 |

(4) 胶点直径

胶点直径是指点胶后所成型的胶点的直径。胶点直径取决于贴片元器件尺寸和焊盘尺寸的大小。胶点直径 GD 应根据点胶嘴内径 NID 和点胶嘴针头到 PCB 的距离 ND 决定。其计算关系如图 3.98 所示。

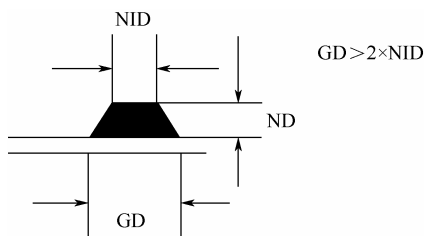


图 3.98 胶点直径计算图

一般点胶后成型的胶点的直径应比元器件尺寸稍小，同时处于两焊盘间距的中央，才能保证胶点不会弄污焊盘。

同时也必须考虑胶点位置的准确度，胶嘴直径一般应达到胶点直径的 0.5 倍左右。

具体参数设置如表 3.19 所示，在实际生产中应按照该 PCB 中焊盘大小而适当调整。

表 3.19 胶点直径参数设置

| 元件尺寸 | 0603 | 0805 | 1206 | SOT23 | 二极管晶体管 | SO16~28 |
|-----------|------|------|------|---------|---------|---------|
| 胶点直径 (mm) | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.7~0.9 | 0.7~0.9 | 1.2~1.8 |

如果胶点直径太小，则在点胶量不足，黏力不够，贴片元器件会移位。同时由于点胶量的不足会导致连接强度的不够而掉件。反之，则点胶量偏大，胶水溢出，弄污焊盘导致假焊、虚焊等缺陷。

(5) 点胶压力

点胶压力是指点胶机设定的气压值，主要根据设备的工作状态而定。在 CAM/ALOT 点



胶机中一般推荐使用的气压值为 4~6bar。

(6) 点胶时间

点胶时间是指点胶嘴距离 PCB 最近时, 点胶压力排胶的时间。点胶时间应根据贴片元器件的尺寸和所选用的胶嘴大小而定。如果点胶时间太长, 则所点加的胶水也多, 点胶量增大, 胶水溢出, 贴片元器件浸没在胶水中, 挤压胶水至焊盘, 而导致假焊、虚焊等缺陷。

如果点胶时间偏短, 则点胶量偏小, 黏力不够, 贴片元器件会在再流前因运动而移位。并且因点胶量的不足导致连接强度不够而在波峰焊接中掉件。

(7) 胶管温度

适当的胶管温度能在点胶工序中形成更好的胶点。胶管温度的设定因胶水的类型而不同, 主要是为了调节胶水黏度以适应设备的要求。以乐泰 3609 胶水为例, ASYSTEM M2000 点胶机 DJ2000 喷射式点胶泵对胶水黏度是在 5~10 万 cps 最合适, 通常会加热到 35~45℃ 红胶可达到这个黏度要求。

(8) 点胶支撑

在理想的点胶参数设定下, 点胶机应能形成较佳的胶点。然而在实际操作中, 因为 PCB 的挠曲、起伏等因素会使得胶点出现大小不同的现象。为了尽量消除这种影响并在允许情形下, 推荐采用支撑顶杆的方式对基板定位。

注意, 设置顶针时应避免顶到元器件。

(9) 固化温度设定

目前较流行的固化方式有热固化和光固化两种。根据企业选用的胶水牌号和设备的条件, 推荐使用热固化方式。

固化温度曲线的设定应根据胶水的类型而定, 如 LOCTITE 3611 红胶要求在 140~160℃ 温度区间固化 80~130s。

一般采用的温度曲线中, 预热温度应为 60~120℃, 预热时间为 30~60s。贴片用红胶的固化参考温度曲线, 如图 3.99 所示。

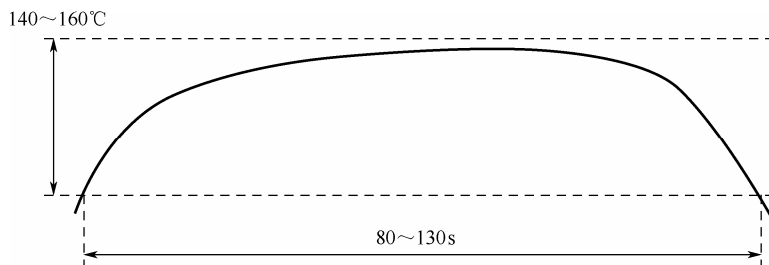


图 3.99 红胶固化参考温度曲线

如使用其他牌号胶水, 其固化曲线由供应商提供。



2. 刮胶

刮胶机的参数设置和优化主要是为了更好地控制钢网上胶的残留、印刷效率、胶点形状和厚度，主要包括以下几个参数。

(1) 印刷压力

压力要适度，通常以钢网上的红胶刚好被刮干净为判断标准。推荐压力=0.5 公斤/厘米×板宽（厘米数）。

(2) 印刷速度

印刷速度与元器件大小有关，通常小元器件印刷速度要比大元器件低，比如 0603 阻容通常为 40mm/s，1206 阻容通常为 60mm/s，速度调整必须兼顾刮胶质量和生产效率。

(3) 脱网速度

脱网速度越慢越好，要求小于或等于 1mm/s，以保证胶点成形。

(4) 分离距离

分离距离为 1~2mm 为合适。

(5) 印刷间隙

贴网印刷，必要时也可在 0~0.5mm 之间调整，以增加胶点厚度。

(6) 红胶滚动高度

红胶滚动高度为 8~12mm，按少量多次添加红胶。

(7) 擦洗网

刮胶禁止自动擦网。人工擦洗网方法：先用丙酮擦拭，再用高压气枪吹孔并从另一面用钢网纸将残余红胶擦净。如果效果不佳，再结合牙刷进行清理，以确保钢网开口的清洁度。另外，中断超过 1 小时必须重新清洗钢网。

3.10.7 质量控制

1. 胶点轮廓

- ① 目标：胶点轮廓规范丰满，无拖尾拉尖现象，如图 3.100 所示。
- ② 可接受：胶点形状不佳，有拖尾现象，但未上焊盘，如图 3.101 所示。
- ③ 拒收：胶的形状不佳，有拖尾现象，且已经接触到焊盘或将要接触到焊盘，如图 3.102 所示。

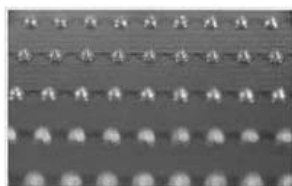


图 3.100 目标

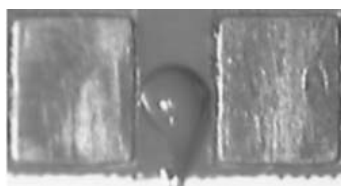


图 3.101 可接受

2. 移位——垂直方向

垂直方向如图 3.103 所示。

① 目标：胶点无偏位。

注意，必要时，可用通过回流炉固化后元器件承受推力大于或等于 1kgf 作为判断依据。

② 可接受： $C \leq 1/4P$ 。

注意，必要时，可用通过回流炉固化后元件承受推力大于或等于 1kgf 作为判断依据。

③ 拒收： $C > 1/4P$ 。

3. 移位——水平方向

水平方向如图 3.104 所示。

① 目标：胶点无偏位。

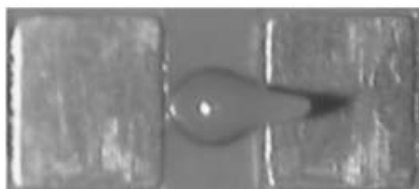


图 3.102 拒收

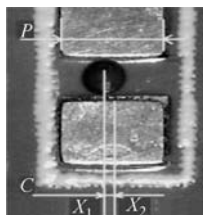


图 3.103 垂直方向

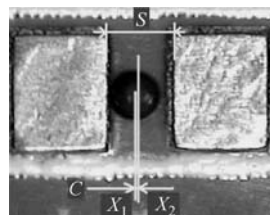


图 3.104 水平方向

② 可接受： $C \leq 1/4S$ ，且胶不能上焊盘。

③ 拒收： $C > 1/4S$ 。

注释：

- X_1 ——胶点中心；
- X_2 ——焊盘的中心；
- $C = |X_1 - X_2|$ ——偏移量；
- P ——为焊盘宽度；
- S ——焊盘间距。

4. 胶点大小

① 可接受：胶点大小符合预定要求，如表 3.20 所示和如图 3.105 所示。



表 3.20 胶点大小

| 封装形式 | 胶点大小 D (mm) |
|------|---------------|
| 0603 | 0.47~0.54 |
| 0805 | 0.50~0.58 |
| 1206 | 0.60~0.86 |

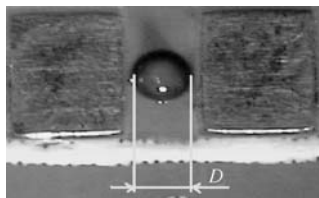


图 3.105 可接受

② 拒收：超出如表 3.20 所示的范围。

5. 固化强度

① 可接受：以 45° 推力测试仪进行测试，其数值符合表 3.21 所示。

② 拒收：以 45° 推力测试仪进行测试，其数值不符合表 3.21 所示。

表 3.21 合格范围

| 元器件封装尺寸 | 合格范围 KGF |
|--------------|------------|
| 0603 | ≥ 1.2 |
| 0805 | ≥ 1.5 |
| TANTAL_typeB | ≥ 2.0 |
| TANTAL_typeC | ≥ 2.3 |
| TANTAL_typeD | ≥ 2.5 |

注释：

- TANTAL_typeB 为钽电容，外形尺寸 $L \times W$ ：3.5mm \times 2.8mm。
- TANTAL_typeC 为钽电容，外形尺寸 $L \times W$ ：6.0mm \times 3.2mm。
- TANTAL_typeD 为钽电容，外形尺寸 $L \times W$ ：7.3mm \times 4.3mm。

3.11 PCBA组件三防工艺规范

3.11.1 名词定义

1. 三防

通常电子设备及材料三防是指防潮、防霉和防盐雾腐蚀。而在实际环境中，湿热、盐雾、工业腐蚀气体和太阳辐射等都是造成电子设备和材料腐蚀的重要环境因素。因此，现代三防的概念应当是防湿热、防霉、防腐蚀。

2. 涂覆

按预定的技术要求，在固体表面上均匀覆盖一层牢固结合、平滑、没有空白区域、连续薄膜的工艺过程称保护涂覆，也称覆形涂覆或共膜涂覆（Conformal Coating）。



3.11.2 三防涂覆要求

1. 一般要求

印制电路板组件的保护涂覆是电子设备三防工艺技术中极为重要的一项关键工艺。通常应根据分机、部件使用环境和特殊部位提出相应的三防等级,根据不同等级选择相应的材料和工艺以保证分机、部件达到三防设计要求。

2. 防护准则

① 一般情况下,三级电子产品(军用/高可靠电子产品)尤其是工作在野外、机载、航天和海上电子设备,必须对其进行保护涂覆。可根据设备的不同运行环境确定是否需要采取三防涂覆。长期工作在野外、海上等恶劣环境下的通信设备,必须进行三防涂覆;对工作在高湿热环境的室内设备,也应进行三防涂覆。

② 精密电路和高阻抗电路应当在保护涂覆之后进行再次调试。保护涂覆虽然提高了印制电路板组件的可靠性,但也会带来一些不良影响,主要是增加了分布电容和介质损耗,会使一些精密电路或高阻抗电路原有的参数和特性改变,而保护涂覆对一般电路没有影响。

③ 整机、部件的印制电路板组件应当在进行环境试验(高低温、冲击振动)之前进行保护涂覆。

④ 用于保护涂层其化学和物理组成必须是一个已固化的聚合物,以一个平滑的,没有空白区域连续覆盖于印制电路板组件的一面或两面。为了增强被保护单元的三防能力,若有需要可采取多道漆(最多三道漆)的涂覆形式。

⑤ 对于印制电路板组件的保护涂覆,涂一道漆和涂两道漆的效果有很大差别。因通常保护涂料中含溶剂,在聚合过程中易形成细微的针孔,造成水分子加速渗入。而涂两道漆不但使涂层增厚,而且有封孔作用,使涂覆层真正成为连续而不透气的膜,可以有效地阻止潮气的渗入,提高防护性能。

⑥ 工作在湿热条件下的印制电路板组件,必须选用高性能的基板材料(如 FR-4)再进行保护涂覆。不能期望采用保护涂层来提高印制电路板基板的绝缘性能,印制电路板组件导线间的绝缘电阻(特别是体积电阻)主要取决于基板材料的性能。保护涂层只能阻隔空气中潮气的影响、避免其因受潮而导致绝缘电阻值骤然下降以及保护导线、焊点、元器件免受盐雾侵蚀,保护涂覆不能提高原有基板的绝缘性能。

3.11.3 三防材料

1. 对三防材料的要求

① 有较好的电性能:介质损耗角正切 $\tan \delta$ 、介质系数 ϵ 值要小,体积电阻率 ρ_v 、电击穿强度 E_b 值要高,且电气性能随温度、湿度变化要小。

② 防潮性能好,受潮以后在正常条件下能迅速恢复原有性能。按照 GJB 360A 方法 106



和 MIL-I-46058C 的 4.8.10 节要求试验时,涂层外观和介质耐电压满足上述要求,平均绝缘电阻至少 $1.0 \times 10^{10} \Omega$ (AR、SR 和 UR);每个已涂覆试样的绝缘电阻,不得小于 $5.0 \times 10^9 \Omega$ (AR、SR 和 UR)。

③ 具有抗霉性,耐盐雾性。

④ 物理机械性能好,对基板及元器件有良好的黏接性和柔韧性,附着能力强,能承受 $-60 \sim +125^\circ\text{C}$ 反复温度冲击 (20 次以上) 不开裂、不脱层。依照 GB/T 1731 方法试验,涂层不得出现龟裂和微裂。

⑤ 可燃性:水平燃烧法试验时,涂层应具有自熄性。

⑥ 涂料和溶剂应是无害的,不会引起 PCB、金属镀层、锡铅焊膏、元器件表面变色、起皱、溶蚀。

⑦ 涂层应是无色透明 (允许加附加物发荧光) 的,不影响元器件上的鉴别标志和色码。涂层应是光滑、连续、均一的,无气泡、针孔、起皱、龟裂、脱层现象。涂层引起印制导线和基材的变色,不得超过涂覆前处理引起的变色。涂层不得腐蚀任何被保护金属。

⑧ 有良好的工艺性,可采用浸涂、喷涂、刷涂等工艺,聚合和干燥时间快。

2. 三防材料的分类

选择一个新品种的保护涂料必须按规定的程序,采用平行试验方法与对照组及空白组进行试验,优选综合性能好的涂料,并通过认证后才能应用。目前能应用于三防涂覆的材料主要有以下几类。

① AR-丙烯酸酯树脂。

② ER-环氧树脂。

③ SR-有机硅树脂。

④ UR-聚氨酯。

⑤ XY-聚对二甲苯 (气相沉积)。

⑥ FC-氟碳树脂。

⑦ 其他类型的三防漆,如醇酸树脂,丙烯酸酯-聚氨酯混合的光固化三防漆。

业界应用比较多的三防漆是丙烯酸酯、聚氨酯包括两者共混的三防漆,如 Humiseal 的 1B73 (丙烯酸酯) 和 UV40 (丙烯酸酯-聚氨酯共混光固化),乐泰的 PC18M (聚氨酯),有机硅有道康宁的 1-2577,XY-聚对二甲苯主要用于高频电路板的保护。

3. 三防材料的性能和特点

三防材料的参数指标和特点如表 3.22 所示。

表 3.22 三防材料的参数指标和特点

| 性 能 | 材 料 | | | | |
|--|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | 丙烯酸 AR | 环氧树脂 ER | 有机硅 SR | 聚氨酯 UR | 聚对二甲苯 XY |
| 体电阻率 ρ ($\Omega \cdot \text{cm}$) | $10^{12} \sim 10^{14}$ | $10^{12} \sim 10^{15}$ | $10^{13} \sim 10^{15}$ | $10^{11} \sim 10^{14}$ | $10^{15} \sim 10^{16}$ |
| 介质系数 ϵ | 3.8~4.2 | 3.4 | 2.6~2.8 | 3.8 | 2.65 |
| 损耗角正切 $\text{tg } \delta$ | 3.5×10^{-2} | 2.3×10^{-2} | 3.5×10^{-3} | 3.4×10^{-2} | 8×10^{-4} |

续表

| 性 能 | 材 料 | | | | |
|--|------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|---|
| | 丙烯酸 AR | 环氧树脂 ER | 有机硅 SR | 聚氨酯 UR | 聚对二甲苯 XY |
| 热膨胀系数 CTE ($10^{-5}/^{\circ}\text{C}$) | 5~9 | 4.5~6.5 | 6~9 | 10~20 | 3~8 |
| 耐热性 ($^{\circ}\text{C}$) | 120 | 130 | 180 | 120 | 130 |
| 涂层厚度要求 (mm) | 0.03~0.13 | 0.03~0.13 | 0.05~0.20 | 0.03~0.13 | 0.01~0.05 |
| 特 点 | 电性能良好，工艺性好，固化速度快 | 电性能良好，附着力强，工艺性好，但由于聚合时产生应力，对易脆元器件需要保护 | 电性能优良，损耗和介质系数均比其他类涂料低，防潮性好，但需较厚涂层 | 耐湿热和耐盐雾环境印制板，一般双组分，操作复杂 | 在特定真空设备中，气相沉积聚合，具有极薄的薄膜形式涂覆于印制板上，渗透能力强，无孔不入 |
| 适用产品 | 适用于室内/外使用的产品 | 适用范围广 | 适用于高频和高温下工作的电路板涂覆 | 适用于耐湿热和耐盐雾环境 | 适用于高频组件 |

3.11.4 涂覆方式

1. 浸涂

浸涂工艺试制将 PCBA 组件浸入三防涂覆液以获得一定厚度保护层的工艺方法。

浸涂工艺的关键是调整好涂料的黏度和控制提起的速度。速度太快会产生气泡，速度太慢会由于溶剂的挥发至使漆膜无法流平，对通常的涂料而言，提起的速度不要超过 1m/min。

对装有可调电容器、微调磁芯、电位器、杯型磁芯及不密封的器件（如晶振等）不允许涂覆的元器件，不能选用浸涂工艺。

浸涂可分立式和卧式两种，在流水线上还可分喷淋式和沉浸式。厚膜电路是采用浸涂方式进行三防处理的，如图 3.106 所示。

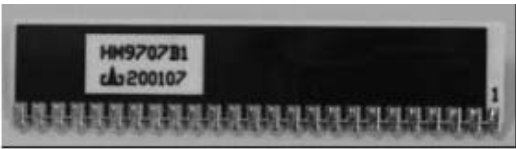


图 3.106 浸涂方式

2. 喷涂

喷涂是使用最广，易于被人们接受的工艺，适用于元器件排列不十分稠密，需要局部保护的不多，且不十分苛刻的产品。喷涂工艺要求涂料的黏度调整到 15~22s（4 号杯），如果黏度过高，喷涂的产品无法流平。合适的黏度不但有喷涂时覆盖的过程，而且还有流淌的过程，使一些喷不到的部位也能为涂层覆盖，同样，对一些不允许涂漆的元器件及组件，需严加保护，使漆雾不污染到这些地方。对印制插件和接地部位，需采用专门夹具或专用保护膜保护，操作者在任何情况下，不准用手触摸印制插头，以防污染触点表面。

喷涂分手工喷涂和设备自动喷涂，因质量和环境的需要，设备自动涂覆工艺是喷涂的发展趋势，实验室和小批量可采用手工喷涂。



3. 刷涂

刷涂工艺是适用性最广泛的工艺,适用于小批量、组装稠密、结构复杂、需局部保护且要求苛刻的产品,由于刷涂可以随意控制涂层,使不允许涂漆的部位不会被污染。刷涂工艺所消耗的材料最少,最适用于双组分涂料和价格较贵的高频涂料。刷涂所用的刷子需严格选择,避免刷毛脱落。

刷涂工艺对操作者要求较高,在施工前要仔细理解图纸和对保护涂覆的要求,能识别PCB 组装板上元器件的名称,对不允许涂漆的部位,要有醒目的标志,刷涂时对焊点及元器件引线必须有序施工、避免遗漏。操作者在任何情况下,不准许用手触摸印制插件,避免插件被漆污染。

对于单板上个别元器件,如图 3.107 所示,进行选择
性三防处理,可以采用刷涂工艺。

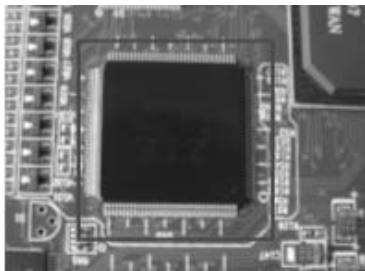


图 3.107 刷涂工艺

4. 真空气相沉积

真空气相沉积是 XY 型(派拉伦)三防漆的施工方式,该工艺首先将材料汽化后在高温下裂解,然后进入真空沉积室沉积到 PCBA 表面进行的工艺方式。真空气相沉积需要专用的设备,适合于实验室和小批量使用。

3.11.5 典型三防涂覆工艺流程

下面以业界应用最广泛的喷涂为例介绍典型的三防涂覆工艺流程。

1. 场地要求

- 三防涂覆工作间必须保持清洁干净,并具有良好的通风条件。
- 三防涂覆工作间的相对湿度应控制在 40%~70%。
- 三防涂覆工作间的温度应控制在 $25^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ 。
- 工作场所关闭手机等电子产品。
- 有防止外来灰尘等颗粒污染物的措施。

2. 安全要求

- 员工应佩戴防毒面具。
- 员工应佩戴胶手套。
- 消防设施完善。

3. 涂覆工艺流程

三防涂覆工艺流程如图 3.108 所示。

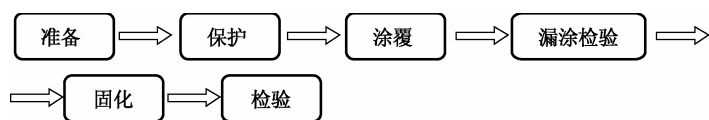


图 3.108 三防涂覆工艺流程

涂覆工艺流程的各工序说明如下。

(1) 准备

- 根据设计文件（图纸），必要时与电路设计共同协商，以便设计最佳实施工艺。
- 确定局部保护（不准涂覆）的部位，例如，印制插头座、可调磁芯、电位器及集成块座等。
- 准备局部保护材料或夹具。

(2) 保护

① 凡不准涂覆的部位，都需局部保护，通常局部保护的元器件除在设计文件（图纸）中有明确标明外，以下元器件均应采取局部保护措施。

- 接插件的接插部位。
- 有灌封要求的电气元器件及部位。
- 微调电容、可调电感、可调电阻和 2W 以上的电阻。
- 开关、波段开关的滑动接点，非密封型继电器的接点（触点）。
- 减振器、密封橡胶垫圈。
- 线束活动（伸缩、转动）部位。
- 电机、步进电磁铁、步进器的滑动刷片。
- 散热器。
- 整机的面板、外壳。
- 印制板金手指、微调磁芯、电位器等其他不需涂覆的部位。

② 不需要涂覆部位的保护方法。

- 通常采用专用夹具、高黏度保护膜等，在选用保护胶带（保护膜）时，必须保证在清洗时不溶胶，经受驱潮、聚合后，胶带上的胶不转移到被保护元器件上，通常的办法是对所选用的保护胶带（保护膜）先进行试验后，再用产品上。
- 对某些可调元器件，为避免漆雾的污染，可在适当的部位上用触变性的硅脂加以保护，但必须是在清洗之后，并保证不污染其他该涂漆的部位，因硅脂与通常的涂料不相容，使漆膜有不连续的缺陷。
- 进行局部保护的 PCB 组件，需经专人检查认可后，方能进入下道工序。
- 三防之前的胶纸保护如图 3.109 所示。

(3) 喷涂

喷涂主要是调节和控制喷涂工艺参数，除了材料和喷枪自身的因素，对喷涂效果影响较大的因素主要包括喷涂压力、雾化压力、出油量和供料压力、喷涂距离和喷涂速度。

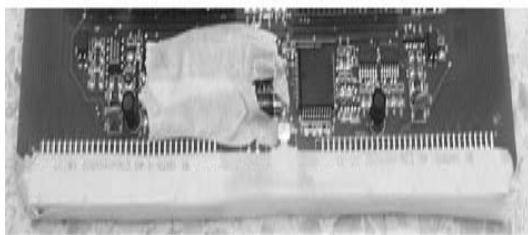


图 3.109 胶纸保护

① 喷涂压力。

自动喷枪的喷涂压力主要用于顶起喷阀内部的弹簧、抬高喷雾阀的撞针，从而打开喷雾阀的流体出口。由于喷雾阀的这种机械结构，决定了喷涂压力越大则出料口越大，反之则小，出油量也相应变化。对于手动喷枪是通过手动开关对喷涂阀的撞针进行控制的。

② 雾化压力。

雾化压力是在喷雾阀出料口的侧面加压，从而使流体在喷雾阀出口处形成扇形雾状，而不是直线形流体，以达到喷涂目的。

雾化压力不均匀会导致喷出的流体不是均匀的扇形，进而导致在电路基板上形成不规则的形状，影响喷涂均匀性，如橘皮、失色等。

③ 出漆量和供料压力。

出漆量即单位时间喷出的油漆量，主要取决于喷枪口径的大小，阀门开启的大小和供料压力，供料压力越大则出漆量越大。

④ 喷涂距离和喷涂速度。

喷涂距离是指喷枪口距离喷涂面（单板面）的距离，喷涂速度是指喷枪的移动速度。

（4）漏涂检验

漏涂检验是检查喷涂之后是否有需要涂覆的元器件没有涂覆，若有，则进行补涂，对于有荧光剂的三防漆，通常在荧光灯下检验，如图 3.110 所示。

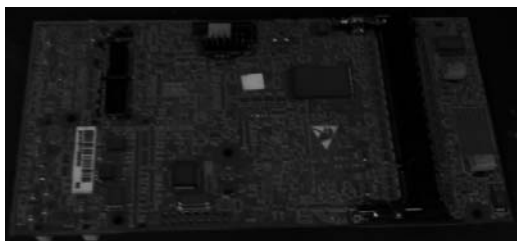


图 3.110 荧光灯下检验

（5）固化

固化是三防漆发生物理变化或者化学反应形成固体薄膜的过程。丙烯酸类三防漆一般是溶剂挥发固化机理，发生的是物理过程；聚氨酯类三防漆发生的交联反应是化学过程。

固化的方式有室温固化、加热固化、湿气固化和紫外光固化。湿气固化一般伴随着室温固化和加热固化进行。对于加热固化，通常每升高 10℃，固化时间缩短一半。紫外光固化



需要一定的光强度和曝光时间，一般的紫外光固化三防漆光照后需要二次固化，二次固化通常采用湿气固化机理。

(6) 检验

固化后主要检查固化情况，如涂覆厚度、是否有外观不良等，无附着缺失、空洞或起泡、退润湿、裂纹、波纹、鱼眼、橘皮和剥落。若有不良情况需查明原因并及时纠正。

3.12 PCBA包装通用周转工艺规范

3.12.1 概述

PCBA 包装是针对 PCBA 在传递、运输和储存过程中的技术要求，以及避免在上述过程中受环境因素（机械性的冲击、振动，湿气，灰尘等）的损伤和污染所采取的所有物理措施（密封、包裹、防护等）的总称。

3.12.2 材料和工具

(1) 材料

根据 PCBA 的类型和要求，所采用的材料如下。

- ① 包装用纸、泡棉、防静电吸塑盒、袋、箱，可参考各类产品的包装工艺过程的列表。
- ② 封装胶纸。

(2) 工具

DBCF—LY E 型立式防静电周转车、3G 周转车或符合要求的其他周转设备。

3.12.3 包装方式

1. 内包装方式

单板的内包装方式有如下 5 种。

- ① 采用防静电 EPE 泡棉托盘进行包装、周转、运输。
- ② 采用永久性防静电黑色注塑托盘进行包装、周转、运输。
- ③ 采用防静电吸塑盒托盘进行包装、周转、运输。
- ④ 采用 3G 周转车进行包装、周转、运输。
- ⑤ 采用其他专用的指定周转器具进行周转。



下边分别介绍。

(1) 采用防静电 EPE 泡棉托盘进行包装周转运输

防静电 EPE 泡棉托盘分为两种：通用包装托盘以及专用包装托盘。通用包装用于普通单板的包装运输，专用包装用于特殊单板的包装、周转、运输。特殊单板需用专用包装托盘周转运输。所谓特殊单板是指单板上有一些特殊结构的元器件，与普通单板相比，其尺寸、外形等有很大的差异，无法采用通用周装托盘的单板；所谓专用泡棉托盘是指为保护单板上异形元器件，依据单板尺寸以及元器件外形定制的托盘，这类托盘上设计有不规则的凹槽、孔洞以保护元器件免受损伤。

使用时，请参照周转包转对应表，选择合适的 EPE 泡棉托盘，单板应依照托盘内格的大小放入托盘的格内，原则上平放，且元器件较多，不平的一面朝上，有特殊要求除外。PCBA 板及电子元器件在长宽高各方向都不能超出泡棉格子外。

(2) 采用永久性防静电黑色注塑托盘进行包装周转运输

当采用永久性防静电黑色注塑托盘周转时，需要满足如下周转要求。

- ① 上层堆放在下层托盘正上方，不歪斜。
- ② 层与层之间需要按照卡位堆叠好。
- ③ 符合如表 3.23 所示的堆叠层数要求。

表 3.23 堆叠层数要求

| 托盘单板质量 (kg) | <10 | $10 \leq X < 15$ | $15 \leq X < 20$ |
|--------------|-----------|------------------|------------------|
| 现场堆叠层数 (层) | ≤ 15 | ≤ 10 | ≤ 8 |
| 库房周转堆叠层数 (层) | ≤ 25 | ≤ 20 | ≤ 15 |

注：1. 单板质量超过规格质量，应采用其他方式周转。

2. 采用中空板箱周转时按照注塑托盘的周转标准推荐，单板质量超过 10kg 后，在现场及库房周转堆叠层数相应地减少大于或等于 3 层。

(3) 采用防静电吸塑盒托盘进行包装、周转、运输

当采用防静电吸塑盒托盘进行包装时，应该根据单板、元器件的外形尺寸选择合适的托盘，将单板、元器件水平放入托盘内，同时注意有方向选择性元器件的放置，单板、电子元器件在长宽高各方向均不能超出托盘单元外。

注意，因吸塑托盘有方向性，在周转过程中，上层与下层需要转向 180° 叠放，其目的是为了避免压伤单板，在回收时，以端部防静电标志为参考，采取同向叠放，以便于回收。

(4) 采用 3G 周转车进行包装、周转、运输

当采用 3G 周转车进行单板的包装、周转、运输时，应根据单板的外形尺寸调节好 3G 周转车层与层之间的高度，注意将每个调限位螺母拧紧。各接受单位在每次接受 3G 周转车时，必须检查限位螺栓的情况，发现松动必须拧紧。坚决不接受受损的 3G 周转车、底部没有防静电屏蔽膜的 3G 周转车，单板车停放时，应该摆放整齐，并随时踩下刹车。



采用 3G 周转车实行跨厂周转时，必须做好以下防静电工作和单板保护以及包装回收工作，具体请参考以下条款，周转车周转如图 3.111 所示。

① 购员装单板的车体整体必须套上防静电屏蔽袋，以保护单板免受静电的危害。

② 在防静电屏蔽袋外面，有单板的前、后、侧面加上防静电“L”形 EPE 防护垫，以保护单板免受冲击损伤。

③ 3G 周转车装车时，注意相互靠拢，并踩紧刹车，装完车厢后，利用车厢壁挂钩，用绳索将车围紧，以免在运输过程中，由于颠簸等原因将车放倒而摔坏单板，没有挂钩的车厢必须焊接挂钩。

④ 拆包时注意保护好包材（包装材料）的完整性，尽量不要损坏包材，将 EPE 以及防静电屏蔽袋分类回收，屏蔽袋应折叠抚平放置，防静电 EPE 应按顺序堆叠放置，以便于回收。

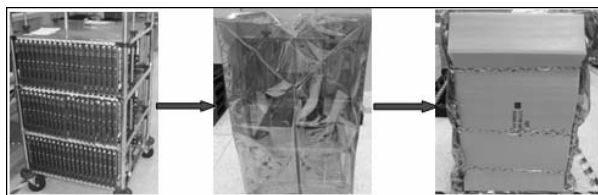


图 3.111 周转车周转

注意，采用 3G 周转车在厂房之间周转时，需要加套防静电屏蔽袋，且车的底部必须增加防静电屏蔽膜。

（5）特殊的包装方式（以背板为例）

背板的内部周转方式通常采用防静电 EPE 泡棉托盘或防静电中空板箱，分为通用包装托盘和专用包装托盘或专用箱体；装箱前包装员需做好防静电工作，按照背板的包装要求备用包材，包装方式有两种：平面放置和侧面放置，如图 3.112 所示。

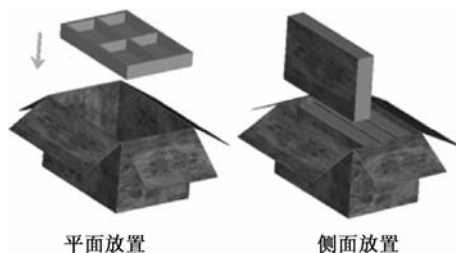


图 3.112 包装方式

2. 装箱

装箱流程如下。

① 包装员首先应做好各方面的防静电工作，按照单板的包装要求备用包材，将扫描好的单板移至包装区。

② 先将纸箱折好成箱形，底部用胶带以“一”字形封好，然后将单板上的箱单贴在纸箱侧面标识区域，并在箱单上签名，如果是回收箱，必须覆盖或撕掉旧箱单，以免发生错误。



③ 装箱作业时,将纸箱正立平放,将装好元器件的 EPE 泡棉托盘或者吸塑托盘逐层依次水平放入纸箱内,为避免托盘倾斜,导致质量事故的发生,不允许一次放置多层托盘入箱内。

④ 托盘入箱叠完后,一般在最后一层上方加盖一层泡棉垫,以防止单板在运输过程中因跳动而损坏,如果间隙过大,又不适合另外叠放一层托盘,需多增加几层泡棉垫,填实间隙,从而达到保护元器件的目的。

⑤ 特殊单板采用专用泡棉托盘,需要部件检验员边检边包装,单板上的元器件应与 EPE 托盘上的孔洞、凹槽相对应。如果是吸塑托盘还应注意上下层之间的放置方向,包装过程都需做到轻拿轻放,不能用力强行压合。

⑥ 装满箱后,应将纸箱上盖合好,并用胶带以“一”字形封好。注意对于远距离长途运输(市区外)的需将纸箱上下层面接缝处按“工”字形用胶带封好。

⑦ 对于采用 3G 周转车周转运输的包装,请按相关操作直接装车,无须装箱。

3. 堆垛包装

① 将装好单板的纸箱依次平放在栈板上,标识朝外堆放,纸箱排布整齐,原则是上一层放满后再放置次上层,不满层尾数箱居中放置,堆垛层数不能超过纸箱上的标明层数。原则上纸箱不能超出栈板的边缘。包装员将堆满叉板货物拉至发货区,待库管员发货。堆放过程中应该遵循“下重上轻,下大上小”的原则。

② 对于短途运输(市区)的包装,用缠绕膜将栈板包装的顶部及四周进行缠绕包裹。一定要缠绕牢固,注意单板车只用于内部周转运输,不能用做跨厂周转运输。

③ 对于长途运输(市区外)的包装,先在栈板包装的顶部及四周棱边上加纸护角,然后用 PET 打包带将栈板包装(包括栈板)包紧,在竖方向两侧面和横方向各打两条,最后用缠绕膜将栈板包装的顶部及四周进行缠绕包裹。打包时,注意 PET 打包带上不能有断裂、接口不良、打带过松的现象,纸护角及打包带不能盖住外箱标贴重要的识别部分,缠绕膜包裹时层与层之间的叠合宽度应不小于缠绕膜宽度的 1/3,膜上不能有破洞、漏缠的现象。栈板包装如图 3.113 所示。

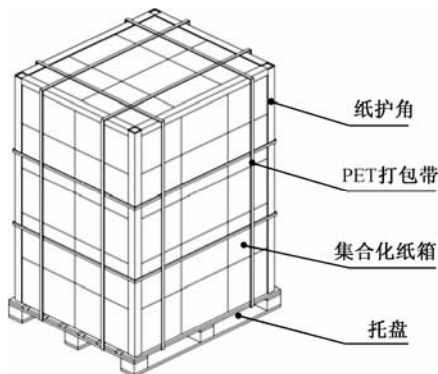


图 3.113 栈板包装

④ 在整个包装运输过程中,注意按纸箱上的储运标识“朝上、小心轻放、防雨、堆垛层数、防静电”等要求操作。



3.12.4 单板的周转

1. 通用要求

① 各类物料在存放周转过程中的基本原则是：摆放整齐避免损伤。在存放或周转中应注意对各类物料的保护，避免因相互碰撞或摩擦导致物料的损坏，同时也应避免各类物料长期置于裸露环境而蒙尘。

② 在生产操作时应轻拿轻放，正确拿取，不跌落，严禁野蛮操作，禁止扔、敲、叠、撞 PCBA。

③ 在作业过程中，需要用手持装有 PCBA 产品的周转托盘移动时，每次只能对一个托盘进行操作，禁止一次操作两个以上的周转托盘，在装有产品的情况下作业，严禁单手操作周转托盘。

④ 当内部周转与跨区域周转器具不能通用或不满足质量要求时，必须采用不同的器具分段作业。

⑤ 采用永久性防静电黑色注塑托盘周转时，需要满足如下周转要求：要求上层堆放在下层托盘正上方，不歪斜；层与层之间需要按照卡位堆叠好；符合如表 3.23 所示的堆叠层数要求。

⑥ 在采用吸塑托盘、EPE 护垫、注塑托盘的现场周转过程中，均不允许直接放地上，需要放在防静电的周转器具上；除附带物品外，禁止在托盘上直接粘贴胶带、标识卡等异物。

⑦ 采用 EPE、吸塑盒进行跨厂配送周转时，必须配合纸箱等专用器具进行周转。在纸箱内堆叠完成后，在托盘顶部需要加盖一层厚度为 20mm 的泡棉垫；其中采用吸塑周转时，装箱前，需要在纸箱底部垫一层厚度为 20mm 的 EPE 护垫。特别要注意堆叠方向。

⑧ 采用永久性防静电注塑托盘进行跨厂配送周转时，每层托盘表面需加盖一层厚度为 10mm 的 EPE 或 IXPE 护垫，堆叠完成后，顶部需要加盖厚度为 20mm 的护垫，如图 3.114 所示。另外，在出库前必须加盖专用纸盖后打包出库。



泡棉放在防静电栈板上

泡棉放在周转车里

黑色周转托盘

图 3.114 周转

⑨ 采用 EPE 托盘或吸塑盒在配合纸箱周转装箱时，遇纸箱内空高度不满足再放一层托盘时，需多增加一层或多层泡棉护垫，填实纸箱与托盘的间隙，以保护单板在运输过程中不脱离托盘。

⑩ 吸塑盒周转工艺要求：采用防静电吸塑盒进行周转时，注意托盘的叠合方向，为了避免压伤元器件，在包装过程中，上下层吸塑盒需要转向 180°，如图 3.115 所示。若有专用产品防护盖，需要按照工艺要求增加防护盖，以保证周转过程中的质量。

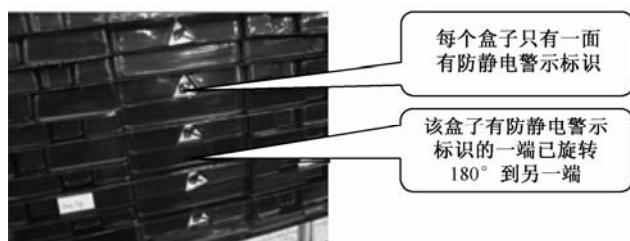


图 3.115 吸塑盒周转

⑪ 现场采用泡棉堆叠必须同时满足 3 个要求：一是泡棉堆放整齐，上层泡棉堆放在下层泡棉正上方，使上层泡棉的重力均匀作用在下层泡棉上，如图 3.116 所示；二是堆放后底层泡棉不得有严重变形，所谓严重变形是指重力转压在 PCBA 上或者 EPE 包材边缘已经偏斜 45° 或黏结边开裂长度达到边长的 $1/2$ ；三是现场堆高不超过 1.5m （以地面为基准）。采用吸塑进行现场周转时，应遵从吸塑的堆垛规则，推荐现场周转堆叠层数小于或等于 20 层。现场吸塑堆叠高度不宜超过 40cm 。

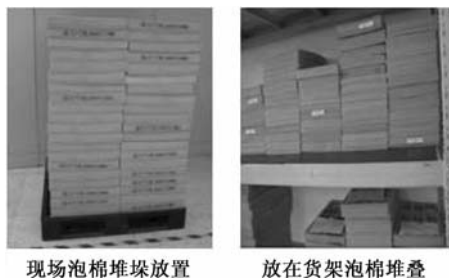


图 3.116 泡棉堆叠

⑫ 物流器具在堆放过程中应该遵循“下重上轻，下大上小”的原则。

⑬ 周转器具堆垛时应将装好单板的纸箱或器具依次平放在栈板上，标识朝外堆放，排列整齐；纸箱不能超出栈板的边缘；一层放满后再放置上一层，最上一层不能摆满时，尾数纸箱可居中放置；堆垛层数不能超过纸箱上的标识层数。注塑托盘或中空板箱的堆垛原则应按照托盘的堆垛要求执行。

⑭ 对于物料的出库，包装作业人员用叉车将堆垛好的货物拉至发货区，待库管员发货。

⑮ 对于短途运输（城市内）的周转，采用纸箱周转时需用缠绕膜或专用打包带、纸护角、专用盖子等将栈板上纸箱垛的顶部及四周进行缠绕包裹。采用注塑托盘或其他器具周转时，应按照其相应要求进行。一定要缠绕牢固，注意除有技术通知单、会议纪要等文件沟通规定外，单板车只用于内部周转运输，不能用作跨厂周转运输。

⑯ 对于长途运输（城市外）的包装，需要先在栈板包装或器具的顶部及四周棱边上加纸护角，然后用 PET 打包带或专用打包带将栈板包装（包括栈板）包紧，最后用缠绕膜将栈板包装的顶部及四周进行缠绕包裹。打包时，注意纸护角及打包带不能盖住外箱标贴重要的识别部分，缠绕膜包裹时层与层之间的叠合宽度应不小于缠绕膜宽度的 $1/3$ ，膜上不能有破洞，漏缠的现象。

⑰ 运输过程中，按纸箱上的储运标识“朝上、小心轻放、防雨、堆垛层数、防静电”等要求操作。



2. 单板的周转要求

① PCBA 采用托盘类器具周转时，单板放入前与托盘器具的高度应大于器件最大高度的 2 倍，单板应依照托盘内格的大小垂直放入托盘内格；放入后，单板及其元器件在长、宽、高各方向都不能超出托盘内格；除包材设计要求或工艺规定外，单板必须平面放置，不允许歪斜，并将元器件较多、不平的一面朝上，对于有严格质量要求的单板，必须密切注意此要求；其他有特殊工艺要求的单板，按照其特殊要求进行周转操作。

② 特殊 PCBA 单板需用专用的周转器具周转运输。所谓特殊单板是指装有一些特殊结构元器件的单板，与普通单板相比，其结构尺寸、元器件的外形有较大差异，采用通用操作时，容易出现质量问题，无法采用通用托盘周转包装，需要进行特别保护。

③ PCBA 的持板方式。持板走动时，手只能接触 PCBA 的边缘，PCBA 应当受力均匀，避免接触元器件；禁止持板时受力点集中于元器件上；持板时，原则上要求双手水平持板；对于质量比较轻的单板，如手机单板，可以单手持板，持板时应卡住 PCBA 上没有元器件的部位，如图 3.117 所示。

④ PCBA 在生产线上操作时，应轻拿轻放，禁止扔板、撞板、敲板。

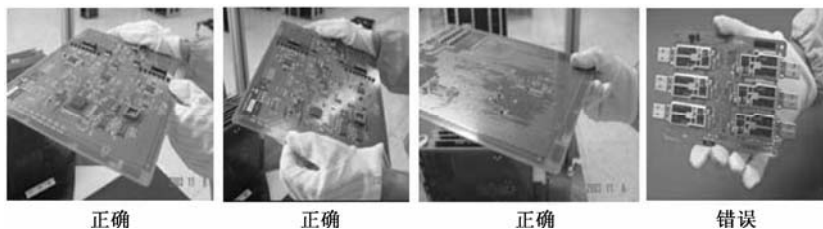


图 3.117 PCBA 的持板方式

⑤ PCBA 的周转注意事项。除栈板、上板架等可以直接与地面接触的器具外，上板架及相关周转器具不允许直接放在地上，需要置于防静电的周转器具上，如图 3.118 所示。

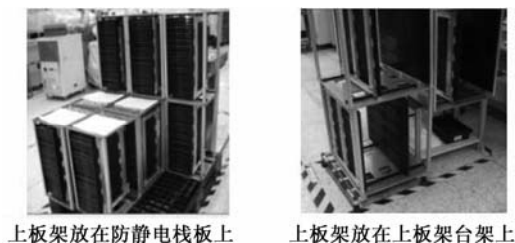


图 3.118 防静电箱

⑥ PCBA 采用上板架周转时，上板架需采用上板架推车周转。注意事项：上板架堆放时最多可以堆两层；上层上板架放置于下层上板架正上方；严禁大上板架放于小上板架上；相同规格的上板架，质量轻的放于质量重的上面，且上板架边缘不得超出上板架推车边缘。推车周转如图 3.119 所示。

⑦ PCBA 采用周转车周转时，在静止放置时应踩住刹车，如图 3.120 所示；装有 PCBA 相邻的两周转车（包括车上的 PCBA）间距不小于 50mm，如图 3.121 所示；使用周转车进行 PCBA 周转时应松开刹车，注意在周转过程中要避免任何可能的撞击。

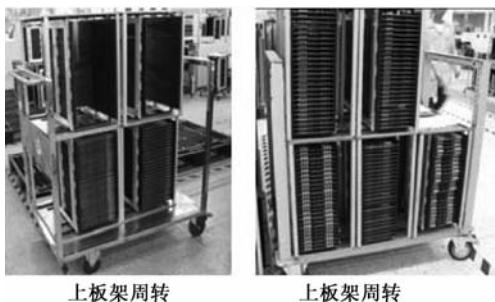


图 3.119 推车周转

⑧ PCBA 放入周转器具时，要求 PCBA：按照一定顺序排放整齐；采用周转车周转时，为避免相邻 PCBA 元器件间相碰，除导轨槽间隙外，要求两 PCBA 之间的间距应大于该板 A、B 两面最高元器件及板厚三者之和，且保证 PCBA 相邻最近元器件之间有 1mm 以上的间隙。同时 PCBA 露出周转车边缘不能超出单板边长的 1/4（插入方向边长）。采用上板架周转时，PCBA 边缘禁止超出上板架外框边缘，如果不满足该要求，则用防静电周转车等其他器具周转。如果没有合适器具，应启动物流器具设计流程，设计定制周转器具周转。



图 3.120 静止周转车要踩住刹车



图 3.121 两车间要有足够大的间隙

思考题

- ① 电子产品级别如何划分？
- ② 组装件清洁度如何检验？
- ③ 请描述静电产生的机理与危害。
- ④ 生产过程如何进行静电防护？
- ⑤ 元器件成型的目的及意义是什么？
- ⑥ 什么叫 PCB 板机械组装？
- ⑦ 焊膏印刷质量对 PCB 安装质量有何重要意义？
- ⑧ 底部填充工艺的作用是什么？






- ⑨ 注胶（底部填充）后的质量要求是什么？
- ⑩ 点胶贴片在波峰焊接因为点胶的原因会产生哪些缺陷？
- ⑪ 点胶/刮胶贴片在波峰焊接中掉贴片的原因有哪些？
- ⑫ 请描述三防涂覆要求？
- ⑬ 三防涂覆方式有哪些？
- ⑭ 单板内包装方式有哪些？

第4章 元器件基础知识



本章要点

-  电子元器件封装技术
-  常见封装介绍
-  元器件应用的工艺性要求



4.1 电子元器件封装技术

4.1.1 封装的定义

(1) 广义的封装

从 IC 芯片的包装到整机的安装和外壳。

- 芯片内的互连——0 级封装。
- 芯片的外壳——1 级封装。
- PCB——2 级封装。
- 机箱——3 级封装。
- 机柜——4 级封装。

(2) 狭义的封装

1 级封装，含一个或多个半导体芯片的一种外壳，它提供电、热通路和机械、环境的保护，如图 4.1 所示。

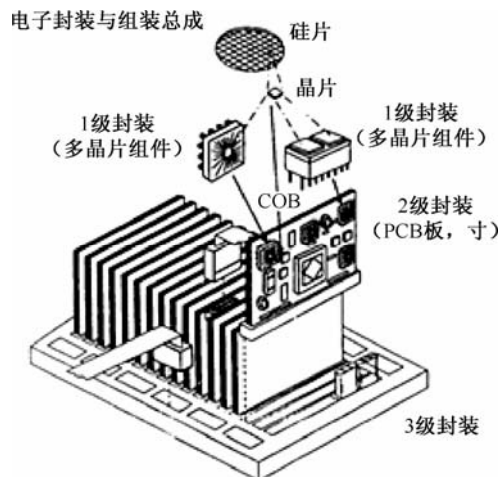


图 4.1 狭义封装示意图

4.1.2 封装的作用

- 引出电路、方便二次组装。
- 保护芯片（潮气、冲击、外物等）。
- 协助散热。



4.1.3 封装技术的发展趋势

- 微型化。
- 高集成度。
- 多引脚。
- 低成本、低功耗。

4.2 常见封装介绍

4.2.1 插入式封装

(1) 有引线分立元器件

例如，电阻、电容、电感、二极管、三极管等，如图 4.2 所示。

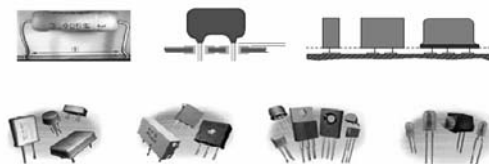


图 4.2 有引线分立元器件示意图

(2) 单列直插式封装和双列直插式封装

SIP (Single In-line Package), DIP (Double In-line Package), 引脚从封装两侧引出，封装材料有塑料和陶瓷两种。DIP 是最普及的插装型封装之一，如图 4.3 所示。

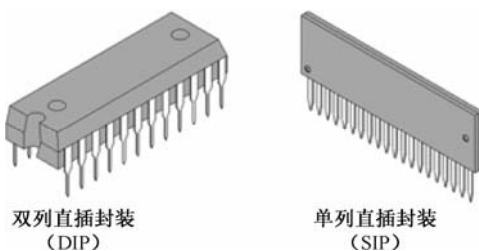


图 4.3 单排直插与双排直插封装示意图

4.2.2 表贴式封装

(1) Chip: 片式元器件

如图 4.4 所示，片式元器件是指片式电阻器、电容器、电感器等两引脚的表面组装元件，



常以外形尺寸的长宽来命名，以英寸（1in=25.4mm）标记，如外形尺寸为 0.12in×0.06in，记为 1206。常见的封装尺寸有 1206、0805、0603、0402、0201、01005。

（2）SOT（Small Out-line Transistor）：小外形晶体管封装

小外形晶体管封装示意图如图 4.5 所示。

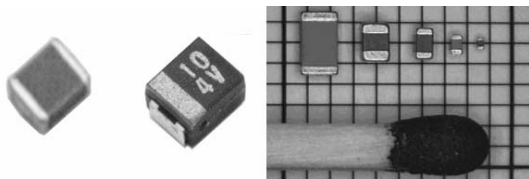


图 4.4 片式元器件示意图

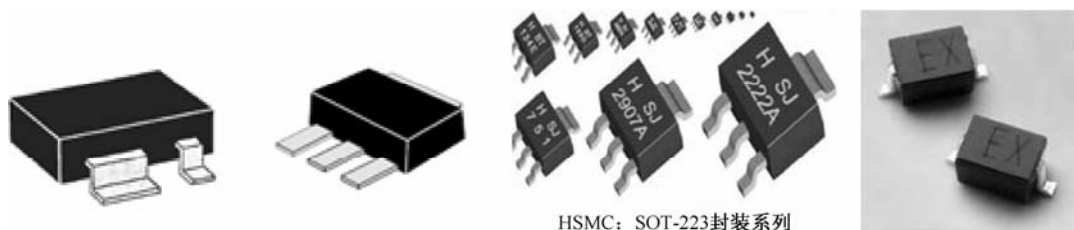


图 4.5 小外形晶体管封装示意图

（3）SOP（Small Outline Package）：小外形封装

小外形封装是指两侧具有翼形或 J 形引线的一种表面组装元器件的封装形式，如图 4.6 所示。

（4）PLCC（Plastic Leaded Chip Carriers）：塑封有引线芯片载体

塑封有引线芯片载体是指四边具有 J 形引线，采用塑料封装的表面组装集成电路。外形有正方形和矩形两种形式，典型引线中心距为 1.27mm，如图 4.7 所示。

- 优点：空间小、引脚共面性好。
- 缺点：目检困难、焊点疲劳失效风险高，体积高，不便于返修。



图 4.6 小外形封装示意图

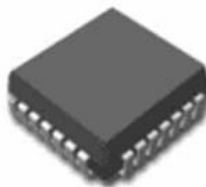


图 4.7 塑封有引线芯片载体示意图

（5）QFP（Quad Flat Package）：四边扁平封装

四边扁平封装是指四边具有翼形短引线，采用塑料封装的薄形表面组装集成电路。引线中心距有英制和公制，公制尺寸有 1.00mm、0.8mm、0.65mm、0.5mm、0.4mm、0.3mm。外



形有正方形和矩形两种，如图 4.8 所示。

- 优点：目检方便，适用于多种焊接方式，可实现细间距。
- 缺点：引脚容易弯曲变形，自对准能力差。

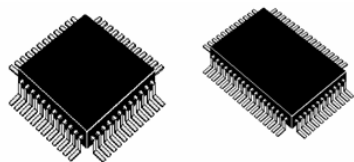


图 4.8 四边扁平封装示意图

(6) QFN (Quad Flat pack - No leads): 四周扁平无引线封装

其 I/O 引出端子在外壳侧面和外壳底部或仅在外壳底部，这是一种无引脚封装，呈正方形或矩形，底部中央位置有一个大面积裸露焊盘用来导热和接地。外围四周焊盘的中心距通常有 1.27mm、0.8mm、0.65mm、0.5mm、0.4mm，如图 4.9 所示。

- 优点：封装面积小、电气及散热性能好，工作可靠性高；
- 缺点：目检困难，工艺控制难度大。

(7) BGA (Ball Grid Array): 球栅阵列封装

球栅阵列封装是指在元器件底部以矩阵方式布置的焊料球为引出端的面阵式封装集成电路。目前有塑封 BGA (P-BGA)、陶瓷封装 BGA (C-BGA) 两种。焊料球中心距有 1.5mm、1.27mm、1mm、0.8mm、0.65mm、0.5mm、0.4mm、0.35mm 等，如图 4.10 所示。

- 优点：空间小、焊接时有自对准功能、高 I/O 数；
- 缺点：目检困难，工艺控制/返修较难。

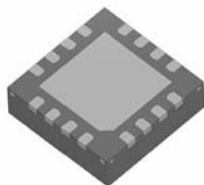


图 4.9 四周扁平无引线封装示意图



图 4.10 球栅阵列封装示意图

(8) 其他封装

其他封装示意图如图 4.11 所示。

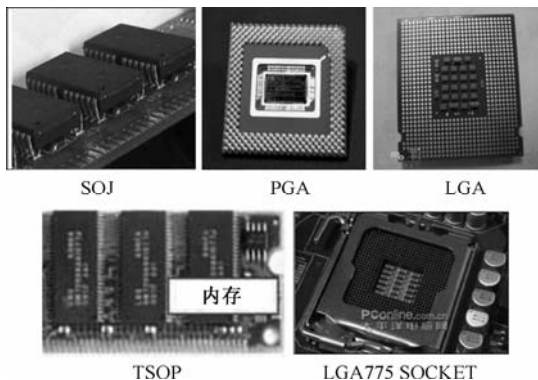


图 4.11 其他封装示意图



4.2.3 常用元器件方向的辨识

- ① 贴片电阻、电阻排、陶瓷电容以及贴片电感：没有方向性。
- ② 钽电容：有色带标志的一端为正极或有突出的一端为正极；电解电容：有缺口端为正极。
- ③ 普通贴片二极管：有色带（或色环）标志的一端为负极；发光二极管：有颜色（如绿色）标志的一端为负极。
- ④ 晶振：从底面看，尺寸较大或有缺角的焊盘为 1 脚。
- ⑤ SOP 封装：在 IC 的顶面一边上有个缺口，从缺口逆时针数第 1 个引脚为 1 脚。
- ⑥ QFP 封装：在 IC 的顶面一角有一个小圆点，逆时针数第 1 个引脚为 1 脚。
- ⑦ BGA 封装：在 IC 的顶面一角有一个小圆点或金属箭头指示，此为 BGA 芯片的方向标志。

元器件方向辨识示意图如图 4.12 所示。

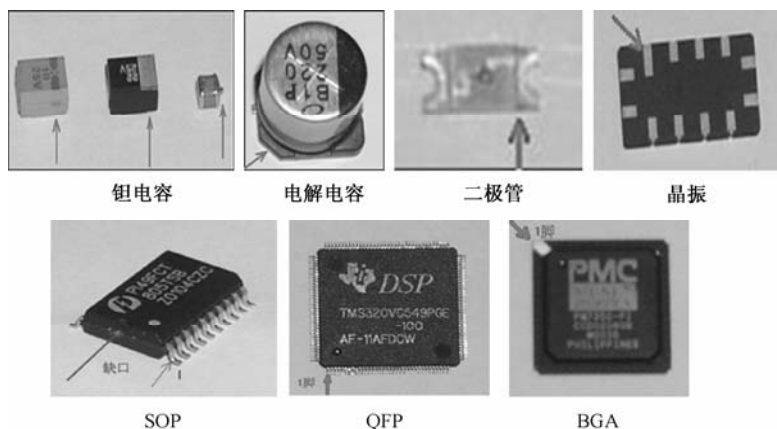


图 4.12 元器件方向辨识示意图

4.3 元器件应用的工艺性要求

4.3.1 可焊性要求

- ① 可焊性：是指材料易于采用焊料进行软钎焊连接的能力，又称软钎焊性。
- ② 元器件引脚的可焊性测试方法有“浸焊法”和“润湿平衡法”两种。一般情况下使用“浸焊法”进行评估，“润湿平衡法”可用作质量仲裁。

浸焊法和润湿平衡法如表 4.1 所示。



表 4.1 浸焊法和润湿平衡法

| 测试方法 | 优点 | 缺点 | 依据标准 | 备注 |
|-------|--------------|-------------|--------------------------|---------|
| 浸焊法 | 可做迅速定性测试，成本低 | 主观性较大 | J-STD-002 IEC 68-2-69 | |
| 润湿平衡法 | 可定量测试 | 试验时间较长、成本较高 | J-STD-001 | 需专用仪器设备 |

4.3.2 可焊端镀层材料

常见镀层的具体要求：有铅镀层要求，如表 4.2 所示；无铅镀层要求，如表 4.3 所示。

表 4.2 有铅镀层要求

| 底镀层（中间层） | | 上 镀 层 | |
|----------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|
| 成分 | 厚度要求（ μm ） | 成分 | 厚度要求（ μm ） |
| Ni | 1~6 | SnPb ¹ | >8 |
| Ni | 1~6 | Au | 0.1-0.5 |
| Cu | — | Pd | 0.1-0.5 |
| Ni | 1~6 | Pd | 0.1-0.5 |
| | | Ag ² | >7 |
| | | AgPd, AgPt ³ | >7 |

注：1、采用（60%~90%）锡；2、不推荐使用，若必须选用，应采用真空包装，且使用含银焊料；3、贴片电阻，电容不能使用。

表 4.3 无铅镀层要求

| 镀 层 成 分 | 厚 度 要 求 | | 适用产品范围 | 备 注 |
|---|--|-----------|--|--------------------------------|
| NiAu | Au \geq 0.075 μm , Ni \geq 2.5 μm | | 系统/终端 | 优选镀层 |
| NiPdAu | Ni \geq 2.5 μm , Pd \geq 0.075 μm , Au0.025~0.1 μm (Au% \leq 4.0%) | | 系统/终端 | 优选镀层 |
| NiPd | Ni \geq 2.5 μm , Pd \geq 0.2 μm | | 系统/终端 | 可选镀层 |
| 纯 Sn (亚光锡) (系统产品引脚间距 \leq 0.65mm 的器件不 推荐使用纯锡镀层) | \geq 7.6 μm (推荐值 10 μm , 无中间层, 电解电镀) | | 终端 | 不推荐镀层 |
| | \geq 5.1 μm (浸锡工艺) | | 终端 | 不推荐镀层 |
| | — (化学镀) | | 终端 | 不推荐镀层 |
| | \geq 2.5 μm (Ni/Ag 层 2.0~6.0 μm , 电解电镀) | | 系统/终端 | 可选镀层 |
| | \geq 7.6 μm (电镀后重熔, 电解电镀) | | 系统/终端 | 可选镀层 |
| SnAgCu | \geq 7.6 μm (电镀后退火, 推荐 150℃, 1 小时, 电解电镀) | | 系统/终端 | 可选镀层 |
| | — | BGA 类器件 | 系统/终端 (系统产品在采用有铅工 艺时, 不推荐使用此合金 成分的 BGA 类器件) | 优选 SAC (Ag: 4.0%, Cu: 0.5%) |
| | \geq 2.5 μm \geq 5.1 μm (浸锡工艺) | 非 BGA 类器件 | | 可选镀层 |
| SnBi | \geq 3 μm (Bi% \leq 3.0%) | | 终端 | 不推荐镀层 |
| SnCu | \geq 3 μm | | 终端 | 不推荐镀层 |

注：镀层优先顺序为优选镀层—可选镀层—不推荐镀层—不可选镀层。



4.3.3 共面度要求

元器件的共面性要求如表 4.4 所示。

表 4.4 元器件的共面性要求

| 封装类型 | QFP、SOP、SOJ、FLCC | | BGA | | 表贴连接器 | | LCCC | 变压器及耦合电感 |
|-----------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| Pitch(mm) | <0.635 | 其他 | <1.0 | 其他 | <0.5 | 其他 | 所有 | 所有 |
| 共面度(mm) | <0.10 | <0.15 | <0.10 | <0.15 | <0.08 | <0.10 | <0.10 | <0.10 |

注：LCCC（Leadless Ceramic Chip Carrier）无引线陶瓷芯片载体封装共面度指底面和焊端的共面度。

4.3.4 耐热性要求

IPC/JEDEC J-STD-020D 推荐的有铅元器件耐温等级要求如表 4.5 所示。

表 4.5 有铅元器件耐温等级要求

| 包装厚度 | 体积<350mm ³ | 体积≥350mm ³ |
|--------|-----------------------|-----------------------|
| <2.5mm | 235℃ | 220℃ |
| ≥2.5mm | 220℃ | 220℃ |

IPC/JEDEC J-STD-020D 推荐的无铅元器件耐温等级要求如表 4.6 所示。

表 4.6 无铅元器件耐温等级要求

| 包装厚度 | 体积<350mm ³ | 350mm ³ ≤体积≤2000mm ³ | 体积>2000mm ³ |
|-------------|-----------------------|--|------------------------|
| <1.6mm | 260℃ | 260℃ | 260℃ |
| 1.6mm~2.5mm | 260℃ | 250℃ | 245℃ |
| >2.5mm | 250℃ | 245℃ | 245℃ |

- 焊接次数要求：能承受 5 次焊接的元器件为优选元件，至少能承受 4 次焊接。
- 返修要求：要求选用元器件能适应返修要求：温度为 340℃±20℃，时间不少于 5s。

4.3.5 尺寸、质量、公差与间距要求

- 表贴元器件的尺寸规格范围，参考贴片机使用说明书。
- 不允许表贴元器件顶部为弧面。
- 元器件顶部可吸附（平坦）面积的共面度不超过 0.1mm。
- 插装元器件，引脚中心距、引脚直径（包括方形引脚的倒角直径）、封装体尺寸和公差等相关信息必须包含在封装资料的信息中，并符合国际标准要求。

4.3.6 外观要求

- 元器件表面印字应当完整、清晰，有极性元器件的极性标识应当清晰可见。



- BGA 器件焊球同底面色差要明显。
- 同一代码下元器件的极性标识或安装标识应当一致。

4.3.7 清洗和涂覆要求

元器件资料上应注明元器件是否能够适应清洗和涂覆。

如果元器件可以清洗，供应商要指明可以使用的清洗方法及清洗剂种类。常用的清洗方法有手工清洗、浸洗、喷淋、超声波清洗等，并需要说明清洗后，是否需要烘干和对烘干工艺有何要求等。

如果元器件有涂覆的需要，供应商要指明可以使用的涂覆工艺及涂覆液种类。常用的涂覆方法有手工刷涂、手工喷涂、机器喷涂等，并告知操作中的注意事项。

4.3.8 包装要求

对于卷带包装的元器件，同一代码下的极性元器件卷带方向应一致。

一般元器件——贴片元器件优先选用卷带包装方式，可选托盘包装方式，不推荐选用管装，不接受散装元件。

存储器类 IC（需要烧录程序操作的元器件）——优先选用托盘的包装方式，其次是管装，不接受卷带包装。

潮湿敏感元器件——等级为 2 级以上的元器件必须采用防潮、防静电包装袋真空包装，且必须在包装袋内加干燥剂和 HIC。

包装要求如表 4.7 所示。

表 4.7 包装要求

| 潮湿敏感等级 | 1 | 2~5 | 6 |
|--------|-----|---------------|---------------|
| 包装袋要求 | 无要求 | MBB 要求（含 HIC） | 特殊 MBB（含 HIC） |
| 干燥材料要求 | 无要求 | 要求 | 特殊干燥材料 |
| 警告标签要求 | 无要求 | 要求 | 要求 |

4.3.9 可靠性要求

评估元器件的焊点可靠性和元器件可靠性，作为元器件认证的重要部分，试验的条件和判定标准要求与相关国际标准或国家标准一致。以下是业界关于无铅元器件可靠性测试项目及标准。

- ① 老化要求。
- ② 封装可靠性。
- ③ 晶须（Whisker）评价。
- ④ 温度循环冲击试验。

⑤ 元器件端子的耐蚀性——IPC-9701、JESD22-A104/ JESD22-A106/MIL-STD 883、Method 1010/ MIL-STD 883、Method 1011。



- ⑥ 引脚接合强度试验（有引脚器件）——MIL-STD-883 Method 2011、EIAJ-ED 4702、EIAJ-ET 7403、EIAJ-ED 4701。
- ⑦ 引脚接合强度试验（无引脚器件）——JESD22-B117。
- ⑧ 三点弯曲试验。
- ⑨ 跌落试验——JESD22-B111。
- ⑩ 振动 / 机械冲击试验——JESD22-B103、JESD22-B104、JESD22-B110、IEC 60068-2-27、IEC 60068-2-35、MIL-STD-883 Method 2007、MIL-STD-883 Method 2002 等。

思考题

- ① 封装如何定义？封装的作用是什么？
- ② 封装主要分为哪几类？常见元器件如何辨识方向？
- ③ 可焊性的要求是什么？元器件引脚的可焊性测试方法有哪几种？
- ④ 无铅和有铅常见的镀层材料有哪些？
- ⑤ 元器件的共面度、耐热性和可靠性要求分别是什么？

第 5 章 装联辅料基础知识



本章要点

-  什么是装联辅料
-  焊接材料
-  清洗材料
-  胶黏剂
-  其他装联辅料简介

5.1 什么是装联辅料

5.1.1 装联辅料的概念

装联辅料是指装联生产过程中，因工艺需要所采用的辅助性材料，在生产过程中，起着焊接、黏结、清洗、覆盖、涂覆、散热、填充等作用的不可再生的消耗性材料。包括钎料类、焊剂类、黏结材料、胶纸、胶带、导热材料、清洗剂、清洁用品、三防漆、保护气体、油漆等材料，如图 5.1 所示。



图 5.1 装焊辅料示意图

5.1.2 装联辅料的分类

(1) 按功能分类

装联辅料按功能分为焊接、黏结、清洗、涂覆、散热、填充等材料，如图 5.2 所示。

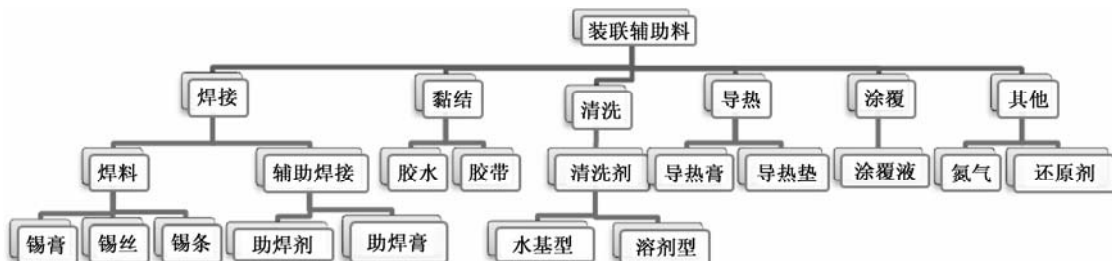


图 5.2 装焊辅料按功能分类

(2) 按形态分类

装联辅料按形态分为固态、液态、气态。



5.2 焊接材料

5.2.1 焊接材料的概念

焊接材料是指在焊接过程中,用于填充在被连接的二基体金属之间的一种熔点低于被连接的基体金属,且在正常焊接条件下能与其相连接的基体金属界面上发生化学反应,生成合金层的金属或合金。

5.2.2 焊接材料的分类

根据焊接温度的不同,常分为以下两类。

① 硬钎焊料:焊接温度大于 450°C 时所用的焊料,简称“硬钎料”。

② 软钎焊料:焊接温度小于 450°C 时所用的焊料,简称“软钎料”。

电子行业常用的焊料为软钎料,由于该类焊料绝大部分都属于锡基焊料,因此也有人称其为“锡焊料”,简称“焊料”。软钎料又可分为有铅和无铅两大类。

5.2.3 焊接过程

1. 什么是焊接

焊接是利用比被焊金属熔点低的焊料,与被焊金属一同加热,在被焊金属不熔化的条件下,熔融焊料润湿金属表面,并在接触面上形成合金层,从而达到牢固连接的过程,如图 5.3 所示。

2. 焊接的目的

① 电器连接:把两个金属连接在一起,使电流能导通。

② 机械连接:把两个金属连接在一起,使两者位置关系固定。

③ 密封:把两个金属焊接后,防止水、油等渗漏。

3. 焊接原理(焊点的形成过程)

① 熔融焊料在被焊金属表面的润湿阶段:润湿是指液体在与固体接触时,沿固体表面扩展的现象,如图 5.4 所示。

② 熔融焊料在被焊金属表面的扩散阶段,如图 5.5 所示。

③ 熔融焊料通过毛细管作用渗透焊缝,与被焊金属在接触面上形成合金层,如图 5.6 所示。



图 5.3 焊接示意图

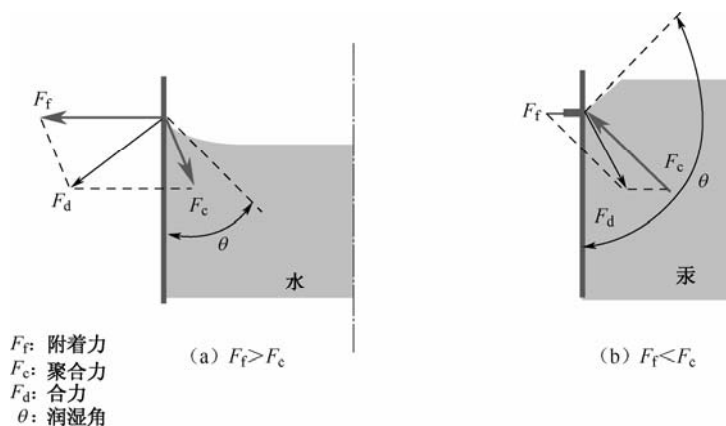


图 5.4 润湿示意图

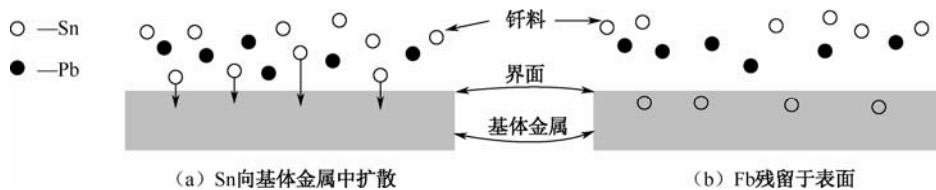


图 5.5 扩散示意图

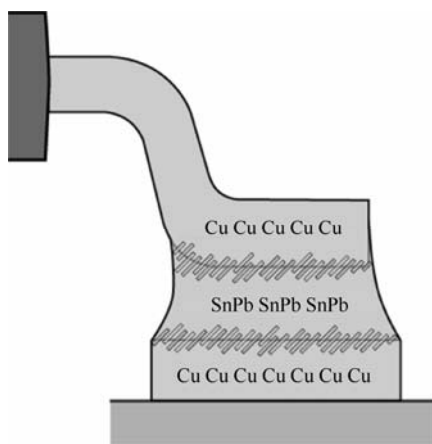


图 5.6 焊料形成合金层示意图

5.2.4 焊料合金

1. 焊料合金分类

- ① 按焊料的形态分类：棒状焊料丝、状焊料膏、状焊料预成型焊料等，如图 5.7 所示。
- ② 按主要成分分类：锡铅锡焊料、锡系焊料、铅系焊料、铝系焊料、金系焊料、铌系焊料等。

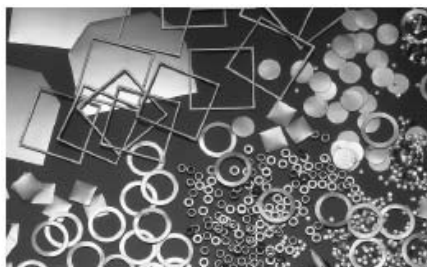


图 5.7 焊料按照形态分类图

2. 锡铅合金

目前，最好的软钎焊焊料是锡铅合金，如图 5.8 所示。

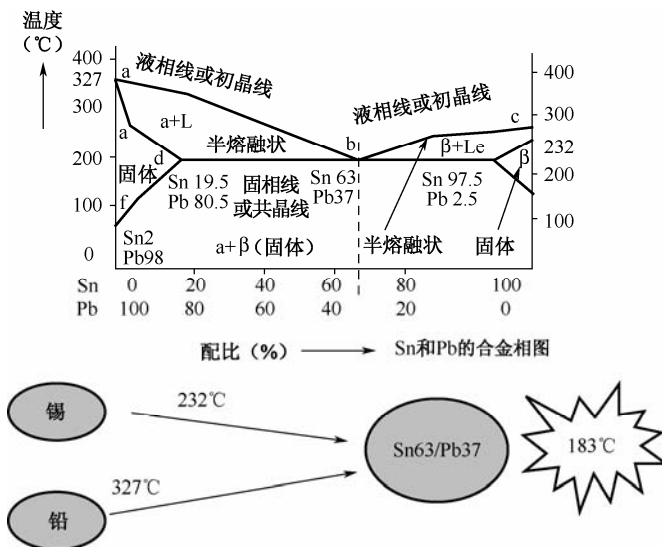


图 5.8 锡铅合金图

3. 锡铅焊膏的特性

(1) 铅在焊料中的作用

① 降低熔点，如图 5.9 所示。

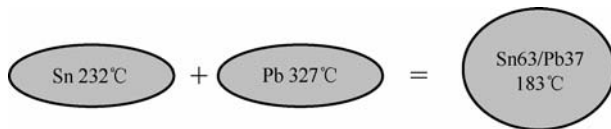


图 5.9 锡铅合金熔点

- ② 减小表面张力和黏度。
- ③ 改进机械特性。
- ④ 抗拉强度：



- Sn——14MPa;
- Pb——15MPa;
- Sn63Pb37——40MPa。

⑤ 剪切强度:

- Sn——20MPa;
- Pb——14MPa;
- Sn63Pb37——30~35MPa。

Cu3Sn / Cu6Sn5 的 CTE (热膨胀系数) 相差很大, 在低高温环境下, 易引起焊点缺陷。

⑥ 增加防氧化能力。

⑦ 保持良好的抗蚀性, 并提高较好的导电性。

(2) 杂质含量对有铅焊膏的性能影响

杂质含量对有铅焊膏的性能影响如表 5.1 所示。

表 5.1 杂质含量对有铅焊膏性能的影响

| 元素名 | 元素符号 | 对焊料的影响 |
|-----|------|---|
| 锌 | Zn | 含量达 0.001%, 其影响就表现出来, 若达到 0.01%, 就会对焊点的外观、焊料的流动性和润湿性造成不良影响, 它是焊料中最忌讳的金属之一 |
| 铝 | Al | 对焊料的流动性和润湿性有害, 不但影响外观和焊接操作, 而且易发生氧化和腐蚀, 要求含量低于 0.001% |
| 镉 | Cd | 有降低熔点的作用, 并能使焊料晶粒变得粗大而失去光泽, 含量超过 0.001%, 就会使流动性降低, 焊点也会变脆 |
| 砷 | As | 即使含量很少, 也会影响焊点外观, 增加硬度、脆性, 但可略提高流动性 |
| 锑 | Sb | 可增大焊料的机械强度和电阻, 其含量在 0.3%~3%时, 焊点形成很好, 含量在 6%以内能使焊点的强度增加。还因锑可使焊料的蠕变阻力增加, 所以高温焊料总要加锑。但含量在 6%以上时, 焊料变得脆而硬 (生成 SbSn), 流动性和润湿性也变差, 抗蚀性减弱 |
| 铜 | Cu | 多数来源于焊接过程, 使焊料熔点升高, 也会提高焊料的结合强度。含铜在 1%以内时, 会增加焊料的蠕变阻力。焊料中含有 1%~2%Cu, 可抵制焊料对铜烙铁头的腐蚀作用, 并用于焊接细线 |
| 硫 | S | 含量高于 0.0005%时, 就会影响焊接, 因为它常以腐蚀性沉淀物的形式残留在母材表面 |

(3) 锡铅焊膏的缺点

锡铅焊膏最大的缺点是含铅量高, 一般锡铅焊膏中铅含量为 37%, 不环保。铅对人体最大的影响是大脑和神经系统, 摄入一定量的铅会使人的反应变慢, 长期直接接触铅会使人智力降低。

(4) 无铅焊膏

无铅焊膏是指焊料中铅含量 (质量) 小于 0.1%。无铅焊膏的种类与特点如表 5.2 所示。



表 5.2 无铅焊膏种类与特点

| 分类 | 合金例 | 熔点、固液共存 温度宽 (°C) | 强度、蠕变 | 润湿性 | 热疲劳性 | 经济性 |
|---------|--|------------------------|-------|-----|------|-----|
| Sn-Ag 系 | Sn/3.5Ag Sn/3.5Ag/0.7u Sn/3.5Ag/4.8Bi | 共晶 216~221 | 优 | 良 | 优 | 高价 |
| Sn-Bi 系 | Sn-58Bi Sn-7.5Bi-2Ag-0.5Cu Sn-2Ag-22Bi | 共晶 139~220 固液区间大 | 良 | 良 | 优 | 高价 |
| Sn-Cu 系 | Sn-0.7Cu | 共晶 | 良 | 良 | — | 便宜 |
| Sn-Zn 系 | Sn-9Zn Sn-8Zn-3Bi | 共晶 近共晶 | 优 | 劣 | 优 | 便宜 |

4. 常用的无铅焊膏

常用的无铅焊膏如表 5.3 所示。

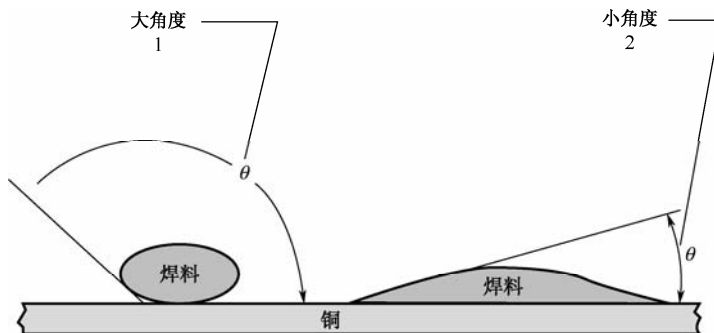
表 5.3 常用的无铅焊膏

| 牌 号 | 固 相 线 | 液 相 线 | 推 荐 组 织 |
|--------------------|-------|-------|---------|
| Sn42/Bi58 | 138 | 138 | |
| Sn96.5/Ag3.5 | 221 | 221 | |
| Sn95.5/Ag3.8/Cu0.7 | 217 | 217 | EURAM |
| Sn96.5/Ag3.0/Cu0.5 | 217 | 227 | JEIDA |
| Sn95.5/Ag4.0/Cu0.5 | 217 | 227 | NEMI |
| Sn99.3/Cu0.7 | 227 | 240 | NEMI |

5.2.5 助焊剂

1. 助焊剂的作用

- ① 去除被焊接金属表面的氧化物，防止焊接时焊料和焊接表面的再氧化。
- ② 降低焊料的表面张力，增强润湿性，有利于热量传递到焊接区，如图 5.10 所示。



1—熔锡中无助焊剂，形成一大润湿角度的球状；
2—熔锡中有助焊剂，钎锡润湿铜表面而形成一小润湿角度

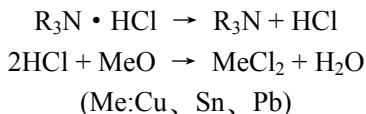
图 5.10 助焊剂的作用



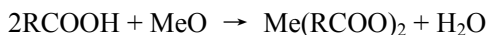
2. 助焊剂的组成

(1) 活性剂

- ① 无机体系的活性剂、盐类、稀盐酸胺盐等。



- ② 有机体系的活性剂。



(2) 成膜剂

- ① 焊接过程中，作为载体，携带活性剂扩散。
② 焊接后，形成致密保护膜。
③ 天然树脂、有机化合物、合成树脂、松香、丙烯酸树脂等。

(3) 添加剂

- ① pH 调解剂：降低焊剂酸性。
② 润湿剂：增强润湿性、增强可焊性。
③ 光亮剂：使焊点光亮。
④ 消光剂：使焊点消光。
⑤ 缓蚀剂：防潮、防腐蚀。
⑥ 阻燃剂。
⑦ 发泡剂。

(4) 溶剂

选择溶剂时考量点。

- ① 对焊剂中的固体或液体成分均具有良好的溶解性。
② 常温下挥发性适中，在焊接温度下迅速挥发。
③ 气味小、毒性小。

溶剂在焊剂中占有 90% 左右的体积百分比，同时可以在不同工艺应用下，调解浓度，满足涂敷要求。常用的溶剂有乙醇（沸点 78℃）、异丙醇（沸点 82.4℃）、去离子水（沸点 100℃）等。

3. 助焊剂的分类

(1) 按照活性分类

助焊剂按照活性分类，如表 5.4 所示。



表 5.4 助焊剂按照活性分类

| 类型 | 固含量% | 用途 |
|------|------|--------------------|
| 低活性 | R | 用于较高级别电子产品, 可实现免清洗 |
| 中等活性 | RMA | 民用电子产品 |
| 高活性 | RA | 可焊性差的元器件 |
| 特别活性 | RSA | 元器件 |

JST-D-004, 焊剂标准已采用 L、M 和 H 来表示。

- L0——低活性助焊剂, 卤素含量 0%——R、某些 RMA。
- L1——低活性助焊剂, 卤素含量小于 0.5%——大多数 RMA、某些 RA。
- M0——中等活性助焊剂, 卤素含量 0%——某些 RA。
- M1——中等活性助焊剂, 卤素含量小于 0.5%——大多数 RA。
- H0 ——高等活性助焊剂, 卤素含量 0%——某些水溶性焊剂。
- H1 ——高等活性助焊剂, 卤素含量小于 0.5%——RSA、大多数水溶性焊剂。

(2) 按照溶剂类型分类

按照溶剂类型分类, 助焊剂可分为水剂型和醇剂型, 其优缺点如表 5.5 所示。

表 5.5 助焊剂按照溶剂类型分类

| 类 型 | 水 剂 | 醇 剂 |
|-----|--------------------------------|-------------------------------|
| 优点 | 主要溶剂为高沸点溶剂, 不易挥发, 较为环保 | 预热温度要求较低, 一般为 80~100℃, 工艺窗口较宽 |
| 缺点 | 预热温度要求较高, 一般为 100-120℃, 工艺窗口较窄 | 主要溶剂为醇类, 沸点较低, 易挥发, 不环保 |

5.2.6 焊膏

1. 焊膏的概念

焊膏是伴随着表面贴装技术(SMT)应运而生的一种新型焊接材料。焊膏是一个复杂的体系, 是由焊料粉、助焊剂以及其他的添加物加以混合, 形成的膏状混合物。

(1) 元器件端子间距与锡粉尺寸的选择

元器件端子间距与锡粉尺寸的选择, 如表 5.6 所示。

表 5.6 元器件端子间距与锡粉尺寸的选择

| 焊 端 间 距 | 锡 粉 型 号 | 筛 目 | 直径分布 (μm) |
|-----------|--------------|-----------|-----------|
| > 0.635mm | Type 3 (AGS) | -325/+500 | 25~45 |
| 0.635mm | Type 3 (AGS) | -325/+500 | 25~45 |
| 0.508mm | Type 3 (AGS) | -325/+500 | 25~45 |



续表

| 焊 端 间 距 | 锡 粉 型 号 | 筛 目 | 直径分布 (μm) |
|----------|--------------|-----------|------------------------|
| 0.4064mm | Type 4 (DAP) | -400/+525 | 20~38 |
| 0.3048mm | Type 4 (DAP) | -400/+525 | 20~38 |
| <0.12mm | Type 5 (KBS) | -500/+635 | 15~25 |

(2) 焊膏中助焊剂的作用

- ① 助焊剂确保焊点在元器件和焊盘之间良好成型。
- ② 黏住焊料颗粒。
- ③ 提供正确的流变性和湿强度。
- ④ 清洁被焊表面。
- ⑤ 去除焊接颗粒表面的氧化层。
- ⑥ 保护被焊表面。
- ⑦ 留下安全的（或可清洗的）残留物。

2. 焊膏应用

焊膏的应用过程如图 5.11 所示。

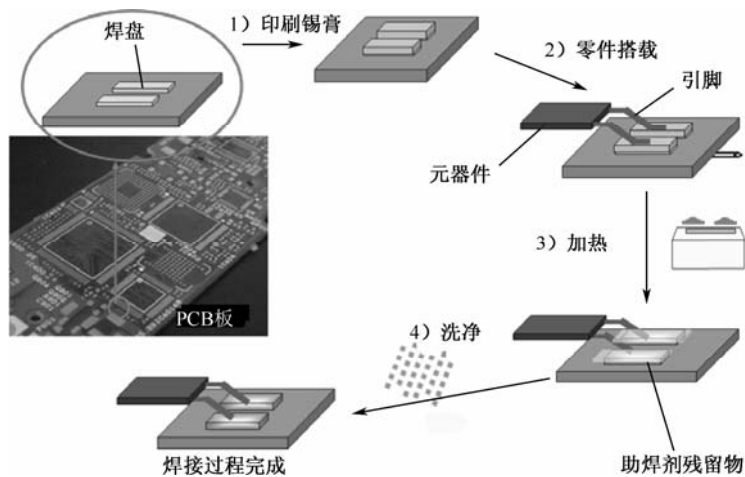


图 5.11 焊膏的应用过程

3. 焊膏的特性参数

(1) 黏度——锡膏印刷时的流变行为

焊膏黏度如图 5.12 所示。

焊膏流变性的复杂状况主要是由于黏性焊剂系统中合金焊料粉末的弥散现象引起的。焊料颗粒的质量是影响焊膏印刷特性的重要因素。

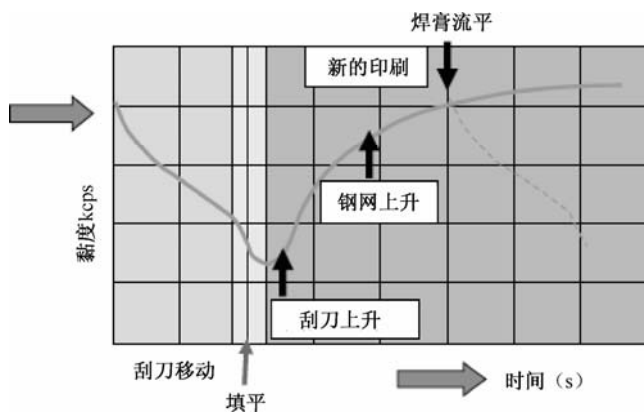


图 5.12 焊膏黏度

(2) 影响焊膏特性的因素

- ① 密度、合金焊料粉成分、配比以及焊剂含量。
- ② 熔点。
- ③ 焊料粉的形状和粒度。
- ④ 触变指数塌落度。
- ⑤ 工作寿命和储存寿命。

4. 助焊剂对焊膏特性的影响

- ① 由助焊剂决定的焊膏特性。
- ② 活性。
- ③ 流变性。
- ④ 印刷和湿强度的特性。
- ⑤ 残留的特性。

5. 焊膏的分类

J-STD-005 将焊膏按颗粒尺寸大小分为六大类，即经常说的几号粉锡膏的含义，如表 5.7 所示。

表 5.7 焊膏按照颗粒尺寸分类

| 类型 | 小于 0.005%颗粒尺寸大于 | 小于 1%颗粒尺寸大于 | 至少 80%颗粒尺寸在以下范围间 | 最多 10%颗粒最小尺寸 |
|----|-----------------|-------------|------------------|--------------|
| 1 | 180 μm | 150 μm | 150~75μm | 20μm |
| 2 | 90 μm | 75 μm | 75~45μm | 20μm |
| 3 | 53 μm | 45 μm | 45~25μm | 20μm |
| 4 | 45μm | 38μm | 38~20μm | 20 |
| 5 | 32μm | 25μm | 25~15μm | 15 |
| 6 | 25μm | 15μm | 15~5μm | 5 |



6. 焊膏使用的注意事项

- ① 储存温度：建议在冰箱内储存温度为 $0\sim 10^{\circ}\text{C}$ 。
- ② 出库原则：必须遵循先进先出的原则，切勿造成焊膏在冷柜存放超过保质期。
- ③ 解冻要求：从冷柜取出焊膏后自然解冻至少 4 小时，解冻时不能打开瓶盖。
- ④ 生产环境：建议车间温度为 $23^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度在 $45\%\sim 65\%\text{RH}$ 的条件下使用。
- ⑤ 搅拌控制：取已解冻好的焊膏进行搅拌。机器搅拌时间控制约 2 分钟（视搅拌机转速而定），手工搅拌约 3 分钟，以搅拌刀提起焊膏缓慢流下为准。
- ⑥ 使用过的旧焊膏：开盖后的焊膏建议在 12 小时内用完，如需保存，请用干净的空瓶子来装，然后再密封放回冷柜保存。
- ⑦ 放在钢网上的焊膏量：第一次放在钢网上的焊膏量，以印刷滚动时不要超过刮刀高度的 $1/2$ 为宜，做到勤观察、勤加次数少加量，多次少量。
- ⑧ 印刷暂停时：若印刷作业需暂停超过 40 分钟时，最好把钢网上的焊膏收在瓶子里，以免变干造成浪费。
- ⑨ 贴片后时间控制：贴片后的 PCB 板要尽快过回流炉，最长时间不要超过 4 小时。

5.2.7 焊料丝

焊料丝如图 5.13 所示。



图 5.13 焊料丝

1. 焊料丝的组成

焊料丝的组成如图 5.14 所示。

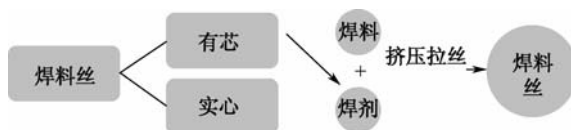


图 5.14 焊料丝的组成

焊料丝的中间一般是助焊剂的断面图，如图 5.15 所示。



2. 焊料丝的分类

- ① 按直径 ($\Phi 0.5\text{mm}$ 、 $\Phi 0.8\text{mm}$ 、 $\Phi 1.0\text{mm}$ ……)。
- ② 按助焊剂含量质量百分比 (1.1%、2.2%、3.3%……)。
- ③ 按合金成分 (63/37、SAC305……)。

3. 焊料丝的使用场合

焊料丝的使用场合如图 5.16 所示。

- ① 手工焊接。
- ② 补焊。
- ③ 维修。

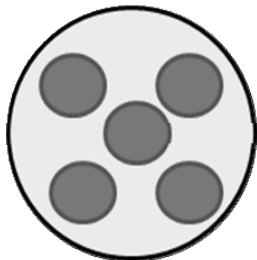


图 5.15 焊料丝的中间断面

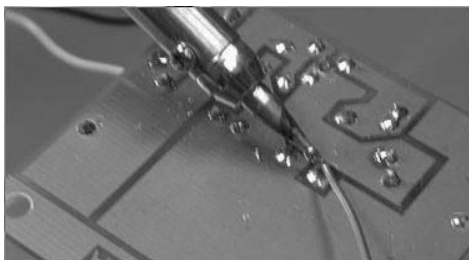


图 5.16 焊料丝的使用场合

4. 使用注意事项

- ① 自我保护 (气体、飞溅物)。
- ② 正确的焊接方法和工具使用方法。
- ③ 选用合适的规格型号。

5.2.8 其他焊料

其他焊料有锡球、锡片、锡条。

5.3 清洗材料

5.3.1 为什么要清洗

- 误印板：印刷不良的板子，被擦到的板子等。
- 钢网：钢网每天都需要清洗。
- 工装夹具：工装夹具也需要定时清洗保养。
- 使用的非免清洗辅料，如非免清洗的焊膏和助焊剂等。



不良缺陷照片如图 5.17 所示。

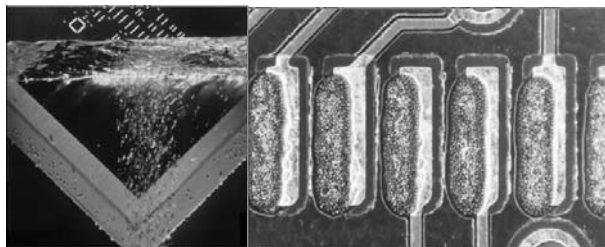


图 5.17 不良缺陷照片

5.3.2 清洗材料的分类

清洗材料一般分为水剂和溶剂两大类。

水剂由表面活性剂（如烷基苯磺酸钠、脂肪醇硫酸钠）和各种助剂（如三聚磷酸钠）、辅助剂配制成，在洗涤物体表面上的污垢时，能降低水溶液的表面张力，提高去污效果的物质。

溶剂类清洗剂一般由烃类溶剂、卤代烃溶剂、醇类溶剂、醚类溶剂、酮类溶剂、酯类溶剂、酚类溶剂、混合溶剂组成。

5.3.3 清洗方式

清洗方式有手工清洗、喷淋、超声波等。

① 喷淋方式如图 5.18 所示。

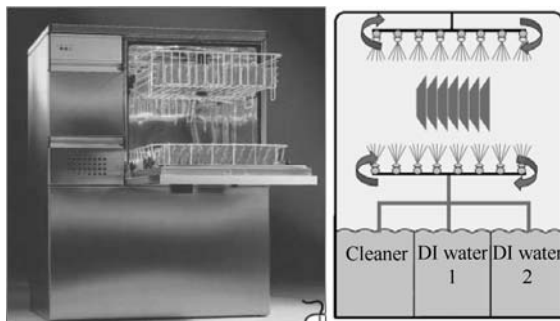


图 5.18 喷淋方式

② 超声波方式如图 5.19 所示。

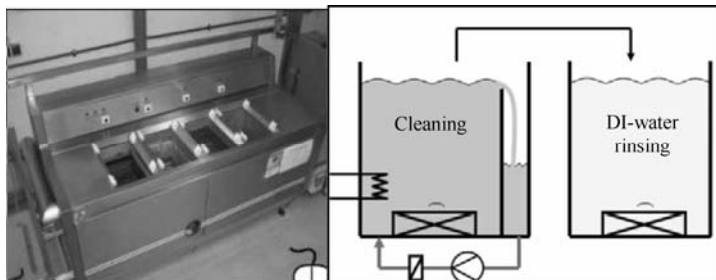


图 5.19 超声波方式



5.4 胶黏剂

5.4.1 胶黏剂的概念

胶黏剂又称黏合剂，俗称胶，如图 5.20 所示。它是能使两个物体表面黏合在一起的物质。胶结（黏合、黏结、胶结、胶黏）是指同质或异质物体表面用胶黏剂连接在一起的技术。

胶接和其他的连接方法相比，有质量轻、密封好、多数工艺操作温度低、连接部位应力分布均匀连续、强度高、耐疲劳等优点。胶接特别适用于不同材质、不同厚度、超薄规格和复杂构件的连接。

5.4.2 胶黏剂的分类

- ① 按应用方法，可分为热固型（红外、热风、传导等）、热熔型、室温固化型、UV 紫外固化型、压敏型等。
- ② 按应用对象，可分为结构型、非构型或特种胶。
- ③ 按形态，可分为水溶型、水乳型、溶剂型以及各种固态型等。
- ④ 合成化学工作者常喜欢将胶黏剂按黏料的化学成分来分类，如丙烯酸类、硅胶类、聚氨酯类、环氧类等。



图 5.20 胶黏剂示意图

5.4.3 胶黏剂的黏接原理

胶黏剂黏接过程的实质为小分子单体聚合成大型分子链的过程，如图 5.21 所示。

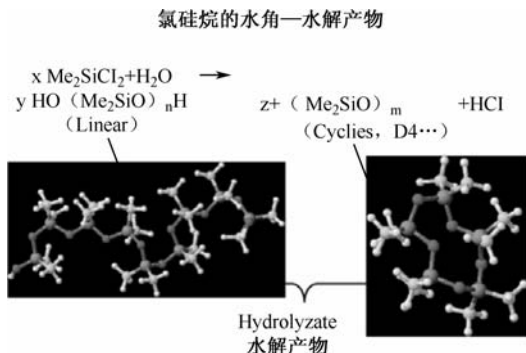


图 5.21 胶黏剂黏结过程

5.4.4 胶黏剂的应用

胶黏剂的应用有红胶、底部填充胶、器件固定胶。



5.5 其他装联辅料简介

(1) 导热类材料

导热类材料主要用于工作时发热较大的元器件的散热，如 CPU 芯片/MOS 管等的散热。

(2) 三防漆

三防漆主要用于工作环境较为苛刻的地地区的单板防护，如海岛、沙漠等地区使用需要特殊防护的单板。

(3) 氮气

氮气主要用在 SMT 回流炉和波峰焊设备，用于保护焊接过程中高温下的金属不被氧化。

思 考 题

- ① 装联辅料的定义以及如何分类？
- ② 什么是焊接？焊接的目的是什么？
- ③ 焊接合金的分类以及锡铅焊膏的特性是什么？
- ④ 助焊剂的组成成分有哪些？助焊剂的作用是什么？助焊剂如何分类？
- ⑤ 焊膏的黏度如何定义？焊膏黏度的影响因素有哪些？
- ⑥ 焊膏使用过程中应注意的事项有哪些？
- ⑦ 为什么要清洗？清洗材料的分类以及原理是什么？
- ⑧ 什么是胶黏剂？胶黏剂的分类以及原理是什么？

第 6 章 PCB基础知识



本章要点



概述



基材介绍



PCB 制作流程



关键工序介绍



6.1 概 述

PCB (Printed Circuit Board), 中文名称为印制电路板, 简称印制板; 美国称为 PWB (Printed Wire Board) 印制线路板, 又称印刷电路板。印制板以绝缘板为基材, 切成一定尺寸, 其上至少附有一个导电图形, 并布有孔 (如元器件孔、紧固孔、金属化孔等), 用来代替以往装置电子元器件的底盘, 并实现电子元器件之间的相互连接。由于它是采用电子印刷术制作的, 故称为印制电路板。印制板是电子工业的重要部件之一, 几乎每种电子设备, 小到电子手表、计算器, 大到计算机, 汽车、飞机、通信电子设备, 军用武器系统, 只要有集成电路等电子元器件, 为了它们之间的电气互连, 都要使用印制板。在较大型的电子产品研究过程中, 最基本的成功因素是该产品的印制板的设计和制造。印制板的设计和制造质量直接影响整个产品的质量和成本, 甚至导致商业竞争的成败。

6.1.1 发展历程

1950 年, 奥地利科学家 Dr.Paul.Eisler 发明了单面板取代真空管其绕线组装, 使得整个整机的体积大幅缩小。大家认为, 这是 PCB 的鼻祖, 也是世界上第一块公认的 PCB。

1968 年至 1970 年, PTH 和电镀铜技术开始发展, 药水供应商 Shipley 为领先者。多层板在 1970 年后开始出现, 1985 年在美国盛行时有 3000 家 PCB, 目前剩下 100 家。

1981 年至 1994 年, 以个人计算机为中心的设计时代, 奉行摩尔法则, 每 18 个月, 性能提高一倍, 价格下降一半。从此 PCB 进入“春秋战国”时代。

美国 PCB 业界在 1994 年开展 HDI (High Density Interconnect) 的研究, 并在 1994 年成立了互连技术研究协会 (ITRI), 1997 年出版一份评估报告, 正式提出了 HDI (高密度互连) 这个新概念。HDI 印制板特点: 具有微导通孔, 其孔径小于或等于 0.15mm, 且大部分是盲孔; 孔环径小于或等于 0.25mm; 线宽和间距小于或等于 0.075mm; 接点密度大于或等于 130 点/平方英寸; 布线密度大于或等于 117 英寸/平方英寸。21 世纪的印制板技术方向就是 HDI 新技术, 也即积层式多层板 BUM (Build Up Multilayer) 新技术。

1995 年, Motorola 推出 BGA 有机载板, 使得高难度组装焊接由 4.5mil/4.5mil 的 TCP 放松到 60mil/60mil, 于是一些元器件被 BGA 和 CSP 替代。

1997 年, Intel 正式向 Motorola 购买 BGA 专利, 从此 PCB 分为 PCB 和组装载板, PCB 发展变为 PCB 代工、PCBA 代工, 以及晶圆代工和封装代工。

6.1.2 PCB 的分类

1. 以用途分类

民用印制板 (消费类) —— 电视机用印制板、音响设备用印制板、电子玩具用印制板、照相机用印制板等。



工业用印制板（装备类）——计算机用印制板、通信机用印制板、仪器仪表用印制板等。
军用印制板——宇航用印制板等。

2. 以基材（绝缘材料）分类

印制板以基材分类如图 6.1 所示。

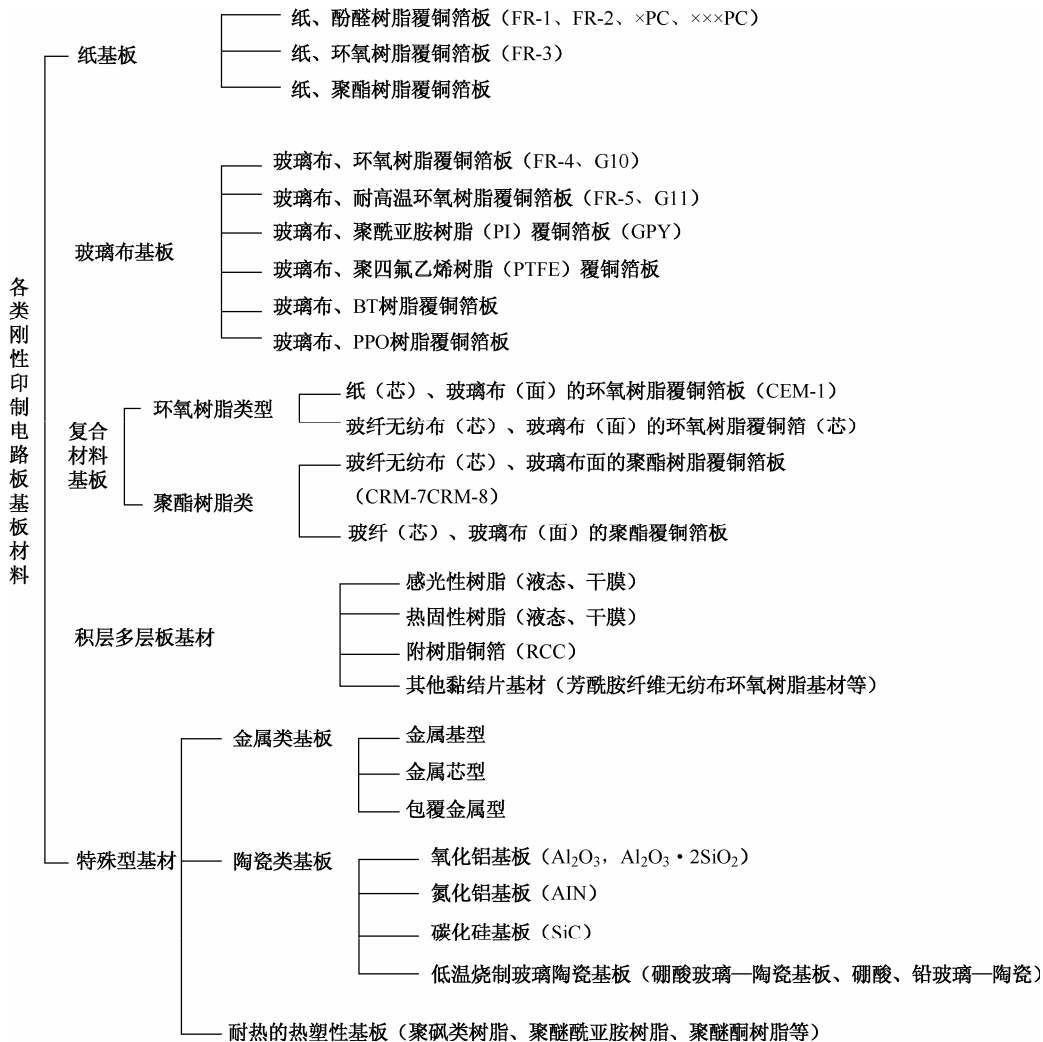


图 6.1 印制板以基材分类

3. 以结构分类

① 刚性印制板——单面板、双面板（非金属化孔双面板、金属化孔双面板、银（碳）贯孔双面板等）、多层板；HDI-BUM（High Density Interconnection-Build Up Multilayer）板；如图 6.2 所示。

② 柔性印制板（Flexible Printed Circuit, FPC）——单面板、双面板、多层板等，如图 6.3 所示。



③ 刚柔结合印制板，如图 6.4 所示。

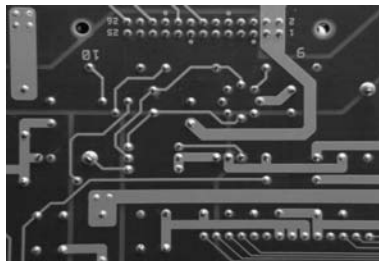


图 6.2 刚性印制板

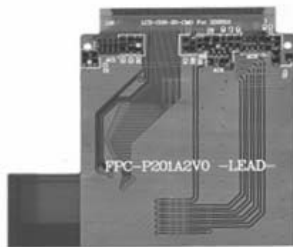


图 6.3 柔性印制板

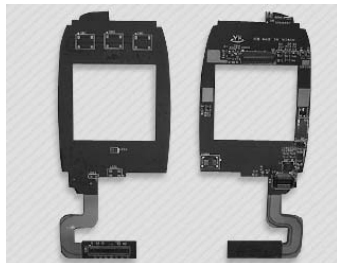


图 6.4 刚柔结合印制板

6.2 基材介绍

① 覆铜箔层压板（Copper Clad Laminates, CCL），简称覆铜箔板或覆铜板，是制造印制电路板（以下简称 PCB）的基板材料。目前最广泛应用的蚀刻法制成的 PCB，就是在覆铜箔板上有选择地进行蚀刻，得到所需的线路图形。覆铜箔板在整个印制电路板上，主要担负着导电、绝缘和支撑三个方面的功能。印制板的性能、质量和制造成本，在很大程度上取决于覆铜箔板，如图 6.5 所示。

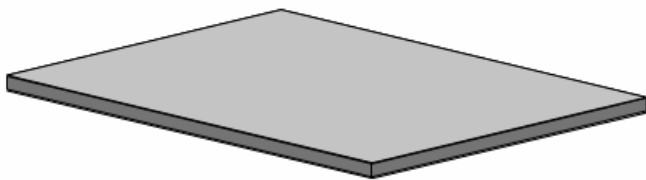


图 6.5 覆铜箔层压板

② 玻璃纤维布：主要成分，一般 FR-4 板用 7628（IPC），薄型和多层板用 1080 和 2116（IPC）。

③ 浸渍纤维纸：增强材料，有浸渍漂白棉纤维纸和浸渍漂白木纤维纸两种。

④ 铜箔：关键材料，分为压延铜箔（RA，特别适用于 FPC 和高频细线板）和电解铜箔（ED）两种；标准厚度为 18 μm 、35 μm 、70 μm 。

6.2.1 基板材料的标准

基板材料的标准绝大多数执行 1997 年美国 IPC 颁布的 IPC-4101《刚性及多层印制板用基材规范》。各个国家和地区也有自己的标准，如日本的 JIS 标准、美国的 IPC 等标准、英国的 BS 标准、德国的 VDE 等标准、法国的 NFC 等标准、加拿大的 CSA 标准、澳大利亚的 AS 标准、国际上的 IEC 标准。另外，还有两个重要标准 UL94《塑料的阻燃试验》和 UL746E《聚合材料工业用层压板、纤维缠绕管、硬化纸板及引制线路板用材料》。



6.2.2 多层PCB用半固化片（Prepreg）简介

① 概念：多层 PCB 用半固化片是由树脂和增强材料构成的一种预浸材料，其中树脂处于 B 阶段结构（半固化状态）。在温度和压力作用下，具有可流动性并能很快固化和完成黏结过程，与增强材料一起构成绝缘层。

② 影响：绝缘性能、尺寸稳定性、精度、耐湿热性、通孔可靠性。

③ 四项主要质量指标：含胶量、流动度、凝胶时间和挥发物含量。

④ 存储：10~20℃真空存放，有效期 3~6 个月，具有以下 3 个生命周期满足压板的要求。

- 液态的环氧树脂，又称凡立水（Varnish）。
- 部分聚合反应，成为固体胶片，是半固化片。
- 压板过程中，半固化片经过高温熔化成为液体，然后发生高分子聚合反应，成为固体聚合物，将铜箔与基材黏结在一起。成为固体的树脂称 C-Stage。

多层 PCB 用半固化片如图 6.6 所示。

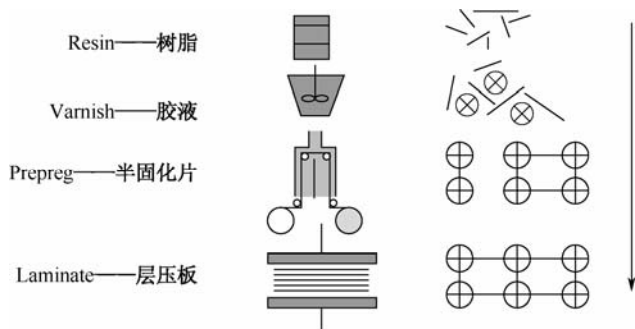


图 6.6 多层 PCB 用半固化片

6.2.3 基板材料的技术发展趋势

① 高密度布线要求基材具有高可靠性（包含耐金属离子迁移性）、高耐湿热性、高耐热性、高介电性（即低 ϵ ，要进行特性阻抗控制）、高尺寸稳定性等“专一化”。

② 多层薄型、短时间成型、尺寸精度稳定和内芯板的高黏接强度。

③ 半导体封装基板中有机树脂基板代替陶瓷基板，优点有免去陶瓷的高温烧结、 ϵ 值低、质量轻、加工方便等。

④ 不含“溴”类的“绿色型”基板。

⑤ HDI-BUM 板用基材——附树脂铜箔基材（Resin Coat Copper, RCC），是在电解铜箔的粗化面上，涂覆有机树脂，形成 B 阶段树脂结构的 HDI-BUM 用的“半固化片”。



6.3 PCB制作工艺

6.3.1 单面板的制造流程

CAD→照相底版（菲林）/开料（清洗干燥）→（附膜、曝光、显影）图形转移→蚀刻（不需要的铜箔）→去感光膜→清洗干燥→钻孔→清洗干燥→阻焊膜（绿油）→印字符→喷锡（热风整平）→外形加工→检验→包装。

6.3.2 双面板的制造流程

CAD→照相底版（菲林）/开料→钻孔→孔金属化（孔壁沉铜）→图形（覆盖需要蚀刻的铜箔）→电镀铜→电镀铅锡→去保护膜→蚀刻→退铅锡→阻焊膜（绿油）→印字符→喷锡（热风整平）→外形加工→检验→包装。

6.3.3 多层板的制造流程

CAD→照相底版/内、外层开料→冲钻定位孔→（内、外层制作）→定位、层叠→压制→钻孔→去毛刺、清洗→去钻污→孔金属化。

6.3.4 正片流程

PTH→全板电镀铜→外层压干膜→曝光（要的线路上是干膜）→DES（显影、蚀刻、去膜）→外层线路→印阻焊。

6.3.5 负片流程

PTH→一次铜→压干膜→曝光（不要的线路上是干膜）→显影→二次铜（图形电镀）→镀锡铅→SES（去膜、蚀刻、剥锡）→外层线路→印阻焊。

6.4 关键工序介绍

6.4.1 钻孔

设备：钻孔机、钻头、钻头套环（固定钻头）、盖板（防止毛刺、散热、清洁钻头、引钻头）、垫板（最下层，钻头行程终点）。



加工条件设定：切削速度（每分钟切削距离）、进刀速度（每分钟主轴下降距离）、主轴转速（主轴每分钟转动圈数）、进刀量（主轴每圈钻入距离）。

加工类型：一步钻孔（一次完成）、分步钻孔（适用于小孔，保证孔位准确和防止短针）、预定钻孔（适用于高厚径比，要更换钻头，保证孔位准确、孔斜和防止短针）、盲孔（内盲孔又称埋孔，先钻后压合；外盲孔先压合后钻）。

基板定位：双面板定位和多层板定位。

常见品质问题：断针、毛刺、孔径错误、堵孔、缺孔、烧焦、孔大、多孔、未穿、孔偏等。

6.4.2 孔金属化

（1）孔金属化

PCB 制作过程中最关键的一个工序，要解决在孔壁覆盖一层均匀的、耐热冲击的金属铜，化学镀铜在印制板制造中用作孔金属化，来完成双面板与多面板层间导线的连通。

（2）孔壁结构

铜箔、玻璃纤维、环氧树脂。

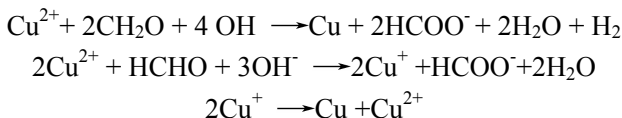
（3）流程

流程分去钻污（主要为树脂残渣）流程和化学沉铜流程两部分。

（4）去钻污流程

方法：高锰酸钾（使用最广泛）、浓硫酸、铬酸、等离子体。

（5）化学沉铜原理



（6）孔金属化的检测

- ① 背光测定（检查孔壁沉铜完善与否）。
- ② 厚度测定（了解化学铜厚度的唯一手段）。
- ③ 蚀刻量测定（了解工作液的强弱和效率）。
- ④ 热冲击检查（检验孔壁结合力的根本方法是孔金属化流程质量鉴定不可缺少的项目）。
- ⑤ 金相切片检测：观察孔壁去钻污、化学铜及电镀层全貌的最可靠的办法，热冲击检验的样品及普通成品板最后必须经过此步骤才能了解其品质状况。



(7) 孔金属化的常见问题（原因复杂）

孔壁无铜、孔粗、孔壁爆裂、孔壁铜底阴影、堵孔。

孔金属化示意图如图 6.7 所示。

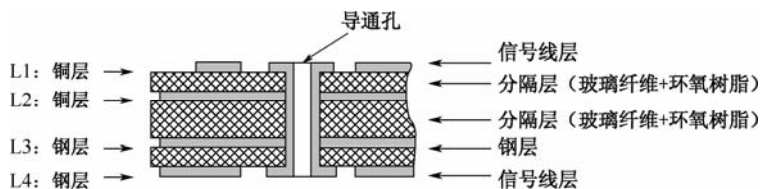


图 6.7 孔金属化示意图

6.4.3 电镀铜

(1) 目的

把双面板或多层板的通孔或盲孔在化学镀铜的基础上，通过整板电镀或图形电镀来实现层间可靠的互连。

(2) 镀铜槽液的选择

考虑分散能力、抗污染、稳定性和易操作性，常规为酸性电镀铜（镀液深镀能力指标：板面铜镀层厚度/孔内铜镀层厚度）。

(3) 工艺参数

温度、电流密度、搅拌、阳极材料和面积。

(4) 电镀原理

镀铜液的主要成分是 CuSO_4 和 H_2SO_4 ，直接电压作用下，在阴 / 阳极发生反应如图 6.8 所示。

- 阴极： $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e} \rightarrow \text{Cu}$
- 阳极： $\text{Cu} - 2\text{e} \rightarrow \text{Cu}^{2+}$

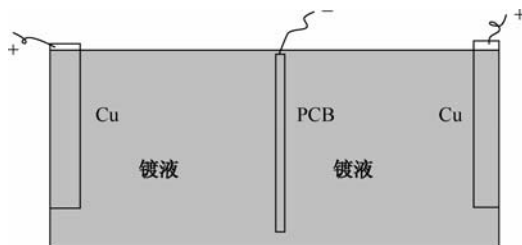


图 6.8 电镀原理



(5) 整板电镀和图形电镀

① 整板电镀：化学镀铜后直接进行电镀铜，然后图形转移（干膜等）、蚀刻；适用于制造精细导线、微小通孔 PCB。

② 图形电镀：经过图形转移后，把不需要电镀铜的导体铜部位用抗蚀剂保护起来，而显露出需要电镀铜导线连接盘和通孔而进行电镀铜（加厚镀铜），接着进行电镀锡铅抗蚀剂、蚀刻；目前占主导地位。

(6) 直接电镀

① 由于化学镀铜液中的甲醛对生态环境有害，络合剂不易生物降解，废水处理困难，同时目前化学镀铜层的机械性能不如电镀铜层，而且化学镀铜工艺流程长，操作维护极不方便，因此直接电镀技术应运而生。直接电镀工艺不十分成熟，尽管种类较多，大多用于双面板制程。

② 以胶体钯、导电高分子材料、碳或石墨悬胶液涂覆在非导体表面，形成导电膜，然后直接进行电镀的方法为直接电镀。

(7) 脉冲电镀

① 原因：传统直流电镀存在孔内电流密度小于板面电流密度，而且分布不均，导致板面镀层厚度大于孔内镀层厚度，甚至孔内中间部位镀层厚度达不到要求；此现象随厚径比（特别是大于 5:1）增加而加重。

② 脉冲电镀即周期性反向电流电镀，脉冲电流波形有严格要求；是利用板面和孔内电镀和溶解的速率差，通过反复的电镀——“溶解修正”来实现孔内镀层和板面镀层厚度的一致性。

③ 可以解决高厚径比（5:1~20:1）、微小通孔和盲导通孔（HDI）的电镀，提高特性阻抗控制精度，缩短生产周期提高产能和节省成本。

6.4.4 图形转移

图形转移如图 6.9 所示。

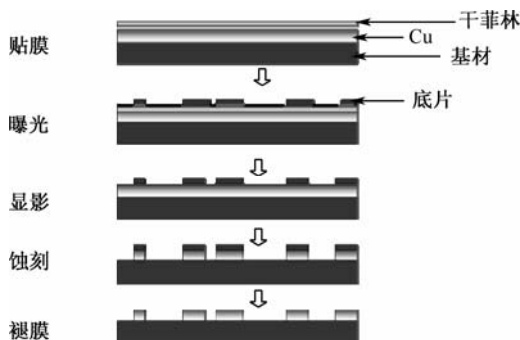


图 6.9 图形转移



(1) 干膜成像法

干膜 (Primary Dry Film) 的构成: 聚酯盖膜 (Polyester) + 感光抗蚀膜 (Photoresist coating) + 聚乙烯隔膜 (Polyethylene, PE)。

(2) 涉及工序

① 贴膜 (干式贴膜和湿式贴膜)。

贴膜前铜面处理 (喷砂研磨法——火山岩粉末、化学前处理法——过硫酸钠微蚀、机械研磨法——灰色尼龙刷各有优缺点), 去除铜面油脂、氧化层、灰尘颗粒残留、水分 (特别是孔内)、化学物质 (特别是碱性物质)。

湿式贴膜能改善贴膜效果, 但仅能适用于未钻孔的内层板面电路制作; 传统水溶性干膜也不适用于湿式贴膜法 (胶渣现象); 氧化铜面的疏水性和干净铜面的亲水性决定湿式贴膜设计中, 铜面湿润后必须马上贴膜。

② 曝光。

曝光的作用是曝光机的紫外线通过底片使菲林上部分图形感光, 从而使图形转移到铜板上, 如图 6.10 所示。

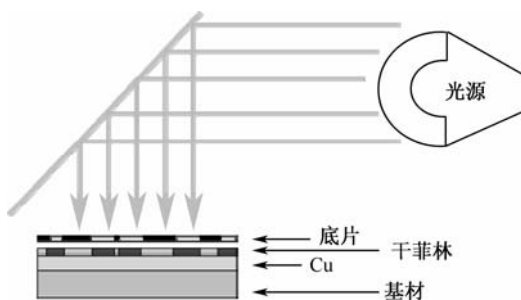


图 6.10 曝光示意图

③ 显影。通过药水碳酸钠的作用, 将未曝光部分的干膜溶解并冲洗后, 留下感光的部分, 有垂直显影和水平显影两种。

④ 蚀刻。蚀刻是将未曝光的露铜部分铜面蚀刻掉。

⑤ 剥膜。剥膜是通过 NaOH 将保护线路铜面的菲林去掉。曝光后干膜属于聚酯类高分子化合物, 具有羧基 ($-\text{COOH}$) 的长链立体网状结构。与 NaOH 或专用退膜水发生皂化反应, 长链网状结构断裂, 产生皂化反应。在高压作用下, 断裂后的碎片被剥离铜面。

(3) 丝网印刷法

丝网漏印电路图形、阻焊膜、字符标记等。

(4) 液态感光法 (湿膜)

① 和干膜成像法不同, 湿膜是采用液态光致抗蚀剂或抗电镀剂经感光法形成图形的, 非常适合高精密度 PCB 的图形转移要求。

② 优点: 贴合度和解像度高、结合性和耐蚀性高 (光固反应)、不需要印刷技术人员、成本低、不需要制作网板、耐酸蚀刻性好、镀锡铅和镍。



6.4.5 蚀刻和抗蚀膜剥离

(1) 蚀刻

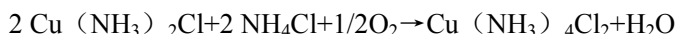
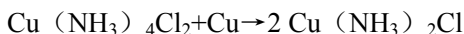
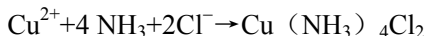
① 蚀刻液种类：氯化铁（适用整板电镀法）、氯化铜、过硫酸铵、铬酸、亚氯酸钠、碱性氯化铜（适用图形电镀法）。

② 蚀刻质量评价：突沿、侧蚀、蚀刻系数、过蚀。

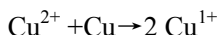
③ 碱性蚀刻管理：除墨（去膜）机（除油墨和干膜要彻底干净）、蚀刻液（pH 值、铜含量、氯离子浓度、蚀刻温度影响侧蚀）、蚀刻机（抽风速度、添加排放系统、喷嘴及喷洒压力、输送速度）。

④ 蚀刻的适用性：蚀刻液和抗蚀剂选用要恰当，根据不同的板材、图形的密度和精度选用抗蚀剂，再根据不同的抗蚀剂选用适用的蚀刻液。

⑤ 蚀刻的化学机理。



⑥ 蚀刻反应实质就是铜离子的氧化还原反应：



⑦ 蚀刻要考虑速率、再生和成本问题，蚀刻决定产品的层次和成品率，蚀刻设备为最关键加工设备。

(2) 抗蚀膜剥离

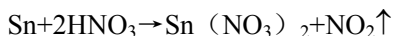
显影溶膜使用碳酸钠、蚀刻剥膜使用氢氧化钾（正片做法最佳）或氢氧化钠。

(3) 退锡铅

① 锡铅镀层的作用：图形电镀后用来保护图形在蚀刻过程中不被腐蚀破坏的镀层，图形蚀刻完成后要用退锡剂去除。

② 退锡剂：有含氟型和硝酸型。

③ 化学机理锡与褪锡水中 HNO_3 反应，生成 $\text{Sn}(\text{NO}_3)_2$ ，反应式如下：



④ 要控制温度、比重、效率和废物处理，并注意保养。

6.4.6 黑氧化/棕化工序

(1) 黑氧化的作用

黑氧化的作用如图 6.11 所示。

黑氧化或棕化工序的作用就是粗化铜表面，增大结合面积，增加表面结合力。

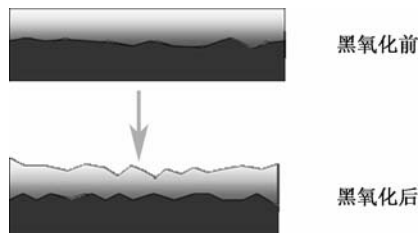
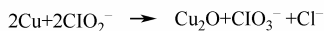
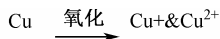


图 6.11 黑氧化的作用



(2) 黑氧化的原理

铜的氧化形式有两种： CuO （黑色）， Cu_2O （紫红色），而黑氧化的产物是两种形式以一定比例共存。



(3) 黑氧化流程缺陷

黑氧化工艺，使得树脂与铜面的接触面积增大，结合力加强，但同时也带来了一种缺陷：粉红圈。

黑氧化层的 $\text{Cu}_2\text{O} \& \text{CuO} \rightarrow \text{Cu}$ 提高黑化膜的抗酸能力，引入新的工艺流程。

(4) 棕化工艺介绍

棕化工艺原理：在铜表面通过反应产生一种均匀、有良好黏合特性及粗化的有机金属层结构（通常形成铜的络合物）。

① 优点：工艺简单、容易控制；棕化膜抗酸性好，不会出现粉红圈缺陷。

② 缺点：结合力不及黑化处理的表面。

黑氧化和棕化工艺的线拉力有较大差异。

6.4.7 层压

(1) 工艺简介

压板就是用半固化片将外层铜箔与内层，以及各内层与内层之间连接成为一个整体，成为多层板。

(2) 工艺原理

利用半固化片的特性，在一定温度下熔化，成为液态填充图形，并在空间处形成绝缘层，然后进一步加热后逐步固化，形成稳定的绝缘材料，同时将各线路各层连接成一个整体的多层板，如图 6.12 所示。

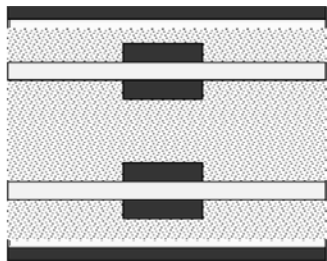


图 6.12 层压工艺原理

(3) 无尘要求

粉尘数量小于 100K 个。

(4) 粉尘粒度

粉尘粒度小于 $0.5\mu\text{m}$ 。



(5) 空调系统

保证温度为 $18\sim 22^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度为 $50\%\sim 60\%$ ，进出无尘室有吹风清洁系统，防止空气中的污染，防止胶粉，落在铜箔或钢板上，引起板凹。

(6) 工艺条件

- ① 提供半固化片从固态变为液态、然后发生聚合反应所需的温度。
- ② 提供液态树脂流动填充线路空间所需要的压力。
- ③ 提供能使含有挥发成分的物质流出板外所需要的真空度。

6.4.8 PCB表面涂（镀）覆层

(1) 表面涂（镀）覆层

表面涂（镀）覆层是指阻焊（兼保护）层以外的可供电气连接或电气互连的可焊接涂（镀）层和保护层。

(2) 用途

适应表面安装技术(SMT)的发展,提高连接盘表面平整度,以利于表面安装器件(SMD)的贴装和提高电气连接的可靠性。

(3) 类型

① 热风焊料整平锡铅合金层（简称热风整平，是利用热涂覆和热压空气在连接盘上形成抗氧化并可焊的平面镀层）。

② 化学镀镍/浸金层（用于 PCB 阻焊膜完成后孤立焊盘的选择性涂覆，保证焊盘的共面性和平坦度，金层为保护镍层，防止氧化，可焊层为镍层）。

③ 有机可焊性保护涂层（OSP，俗称抗氧化剂，用于保护铜表面，只能做锡焊，可焊层为铜层）。

④ 化学镀银层、化学度锡层等。

各种板表面涂层的主要特性如表 6.1 所示。

表 6.1 各种板表面涂层的主要特性

| 特 性 | HASL | OSP | 化学镀镍/浸金 | 电解镍/电镀金 | 浸 银 | 浸 锡 |
|--------------|---------|-----------------|---------|---------|--------|--------|
| 适当处理的储存寿命 | 1 年 | 6 个月 | >1 年 | <1 年 | 6 个月 | 6 个月 |
| 处理/接触焊接表面 | 应避免 | 必须避免 | 应避免 | 应避免 | 必须避免 | 必须避免 |
| SMT 焊盘表面拓扑结构 | 非一致性的平面 | 平整 | 平整 | 平整 | 平整 | 平整 |
| 多次（4）再流循环 | 好 | 一般 / 好，采用厚涂层更好 | 一般 / 好 | 一般 / 好 | 一般 / 好 | 一般 / 好 |
| 不使用清洗剂 | 无关 | 存在 PTH/通孔，填充的问题 | 无关 | 无关 | 无关 | 无关 |



续表

| 特 性 | HASL | OSP | 化学镀镍/浸金 | 电解镍/电镀金 | 浸 银 | 浸 锡 |
|-------------------|-----------|-----------------|----------------------------------|-------------------------|-------------|---------|
| ≤1.0mm 厚 PCB 上的翘曲 | 是 | 否 | 否 | 否 | 否 | 否 |
| 焊点可靠性 | 好 | 好 | 存在 BGA “黑色焊盘”和焊点脆的问题 | 存在金脆性问题 | 好 | 好 |
| 卡边缘接触 | 需补加镀覆工艺 | 需补加镀覆工艺 | 需补加镀覆工艺 | 需补加镀覆工艺 | 需补加镀覆工艺 | 需补加镀覆工艺 |
| 线焊 | 否 | 否 | 否 | 好 | 否 | 否 |
| 测试点探测 | 好 | 差, 除非在组装中施加焊料 | 好 | 好 | 好 | 好 |
| 组装后铜裸露 | 否 | 是 | 否 | 否 | 否 | 否 |
| 开关/触点 | 否 | 否 | 是 | 是 | 是 | 否 |
| 废物处理和 PCB 制造安全 | 差 | 好 | 一般 | 一般 | 好 | 好 |
| 表面涂层厚度控制 | 存在厚度控制的问题 | 好 | 好 | 存在金厚度控制的问题 | 好 | 好 |
| 涂层总厚度 (μm) | 2.0~8.0 | 0.15 最小值 [无最大值] | 金 0.08 最小 [0.08~0.13], 镍 3.0~6.0 | 金 0.13~0.75, 镍 1.25~7.5 | 一般 0.05~0.5 | 0.65 最小 |
| 成本 | 1 | 1 (厚涂层) | 1.1~1.3 | 1.2~1.5 | 1 | 1 |

6.4.9 阻焊剂涂覆

(1) 用途

阻焊剂又称阻焊油墨、绿油、湿膜等, 用于保护板面避免受到污染、腐蚀和损伤等, 是 PCB “外衣”。

(2) 分类

- 干膜类 (已淘汰) 和液态类。
- 非感光型 (适用丝网漏印) 和感光型 (双面板和多层板基本上用此类)。
- 溶剂性 (用有机溶剂显影, 首选) 和水溶性 (用水溶液显影)。

(3) 成分类别

纯环氧树脂类、环氧-丙烯酸共聚合物类、环氧-丙烯酸混合物类、丙烯酸类。

(4) 涂覆方式

帘幕涂布、丝网印刷、静电喷涂、气式喷涂、辊涂等。



6.4.10 电气性能测试

(1) 测试

电气性能测试即 PCB 的“通”、“断”测试，或“开”、“短”路测试，以检验生产出来的 PCB 网络状态，是否符合原 PCB 的设计要求。

(2) 电气测试技术

① 接触式测试。

- 针床测试：并行测试，测试速度快，适合稳定品种的重复批量生产；但测试精度有局限。
- 飞针测试：串行测试，测试速度慢，适用小批量、多品种的非重复性生产，如样板和小批量生产。

② 非接触式测试：适合 HDI-BUM 板的高密度要求。

- 电子束测试。
- 离子束测试。
- 光电测试。





思 考 题

- ① 什么是 PCB？PCB 的发展历程是什么？
- ② PCB 按照用途，结构和基材分别如何分类？
- ③ PCB 的基材分别有哪些？
- ④ 简述 PCB 的制作流程。
- ⑤ PCB 的关键工序有哪些？每个工序的作用是什么？

第7章 SMT关键工序及控制



本章要点

-  SMT 工程简介
-  SMT 工艺流程
-  SMT 关键工序的控制与管理
-  SMT 过程控制中应注意的问题



7.1 SMT工程简介

7.1.1 SMT定义

SMT（Surface Mount Technology）的中文意思是表面贴装技术，主要应用于印制电路板（PCB，Printed Circuit Board）及电路模块或陶瓷基板组件的元器件贴装。它是电子产品电气互连技术体系中的主要技术，是现代电子产品先进制造技术的重要组成部分。其技术内容包含表面组装元器件、组装基板、组装材料、组装工艺、组装设计、组装测试与检测技术、组装及其测试和检测设备、组装系统控制和管理等，技术范畴涉及材料、制造、电子技术、检测与控制、系统工程等诸多学科，是一项综合性工程科学技术。

- ① 美国是世界上 SMD 与 SMT 最早起源的国家。
- ② 日本在 SMT 方面处于世界领先地位。
- ③ 欧洲有较好的工业基础，SMT 发展速度也很快。
- ④ 中国 SMT 起步于 20 世纪 80 年代初期，目前正处于快速发展阶段，并已成为 SMT 世界加工基地之一。

一条标准的 SMT 自动生产线配置如图 7.1 所示。



图 7.1 一条标准的 SMT 自动生产线配置

7.1.2 SMT电子技术发展

随着电子元器件小型化、高集成度的发展，电子组装技术也经历了以下几个发展阶段，电子组装技术发展趋势如表 7.1 所示。

表 7.1 电子组装技术发展趋势

| 时期 | 电子组装技术发展阶段 |
|-------------|------------|
| 20 世纪 50 年代 | 手工焊接 |
| 20 世纪 60 年代 | 半自动插装浸焊 |
| 20 世纪 70 年代 | 全自动插装波峰焊 |
| 20 世纪 80 年代 | SMT |
| 20 世纪 90 年代 | 窄间距 SMT |
| 2000 年之后 | 超窄间距 SMT |



SMT 是电子装联技术的发展方向, SMT 已成为世界电子整机组装技术的主流。目前 SMT 有两种工艺, 这两种工艺在技术能力上存在极大的差异, 取决应用的特定需求, 各有优缺点。

① 点胶 / 波峰焊工艺。这种工艺可最大限度利用原有设备, 因此它是一种费用低、资金投入风险小的技术。自动插孔设备可继续用于通孔插装元器件, 而许多这种元器件市场还不能提供表面安装组件。原有的波峰焊机也可继续使用。这种工艺方法最适用于焊接无源表面安装元器件, 同时适用于仍保留通孔插装形式的半导体元器件与集成电路。

② 印锡膏 / 再流焊工艺。可焊接所有表面贴装元器件, 焊接可靠性高, 便于工艺控制。

7.1.3 SMT特点

与传统工艺相比, SMT 的特点如下所述。

- ① 高密度, 元器件种类繁多, 元器件在 PCB 上高密度分布。
- ② 组装精度和组装质量要求高, 组装过程复杂及控制要求严格。
- ③ SMT 及其元器件的迅速发展引起的组装技术更新速度快。
- ④ 小型化, 引脚间距小, 焊点微型化。
- ⑤ 组装过程自动化程度高, 大部分借助或依靠专用组装设备完成。
- ⑥ 元器件端子和电路焊盘之间建立牢固和可靠的机械与电气连接。

SMT 工艺和插件工艺的 PCBA 布局 (表贴和插件 PCBA) 如图 7.2 所示。

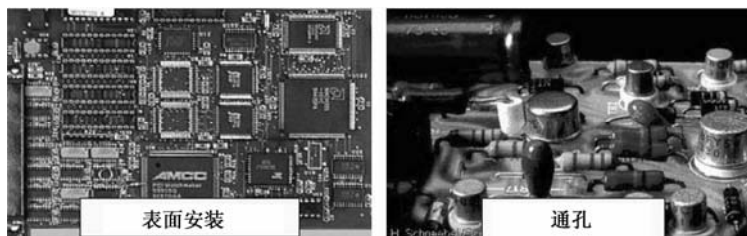


图 7.2 SMT 工艺和插件工艺的 PCBA 布局

THT 工艺和 SMT 工艺对比如表 7.2 所示。

表 7.2 THT 工艺和 SMT 工艺对比

| 类型 | THT (Through Hole Technology) | SMT (Surface Mount Technology) |
|-------|---|---|
| 元器件 | 双列直插或 DIP, 针阵列 PGA 有引线电阻, 电容 | SOIC, SOT, SSOIC, LCCC, PLCC, QFP, PQFP, 片式电阻电容 |
| 基板 | 印制电路板, 2.54mm 网格, $\phi 0.8\text{mm} \sim \phi 0.9\text{mm}$ 通孔 | 印制电路板, 导电孔仅在层与层互连调用, 布线密度高 2 倍以上 (3×3) |
| 焊接方法 | 波峰焊 | 再流焊 |
| 面积 | 大 | 小, 缩小比为 $1:3 \sim 1:10$ |
| 组装方法 | 穿孔插入 | 表面贴装 |
| 自动化程度 | 自动插件机 | 自动贴片机, 生产效率高 |

7.1.4 SMT工程的主要组成部分

SMT 工程的主要组成部分如图 7.3 所示。

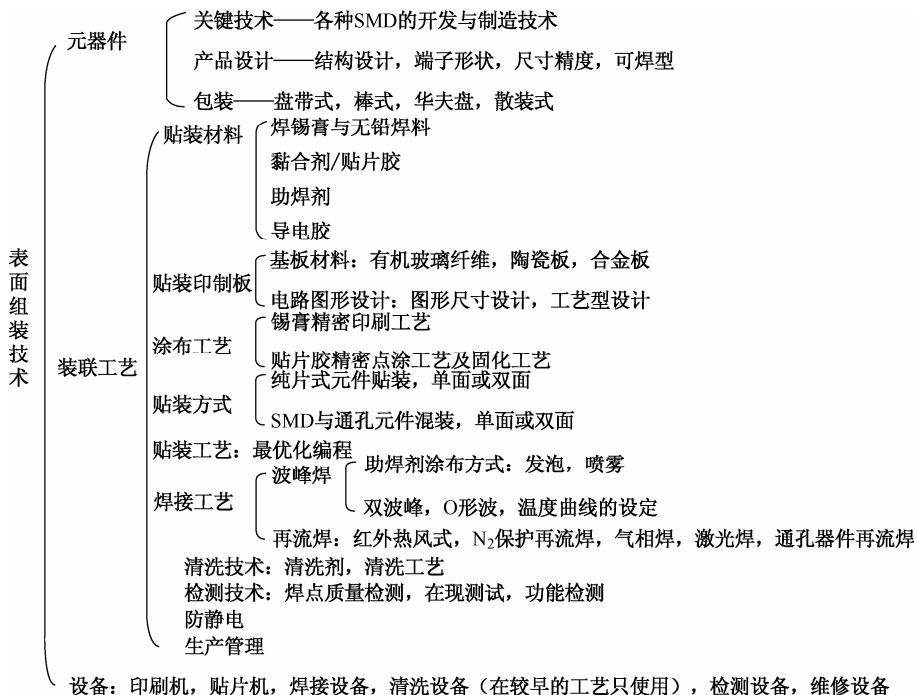


图 7.3 SMT 工程的主要组成部分

7.2 SMT工艺流程

7.2.1 SMT基本工艺过程和设备配置

概括来说，SMT 工艺过程就是先将焊膏涂在 PCB 基板上，搭载元器件后再加热来熔化焊膏中的钎料而实现冶金连接的过程。根据上面的定义，对 SMT 工艺过程的描述和所用设备可以表述如图 7.4 所示。如图 7.4 所示的工艺过程可知，SMT 工艺过程中最关键的工序是焊膏印刷、贴装元器件、再流焊三个工序。

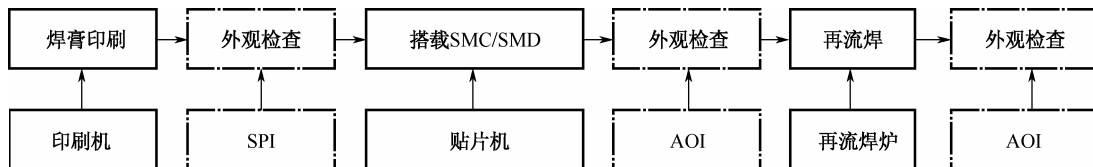







图 7.4 SMT 工艺过程

7.2.2 典型单板组装形式

SMT 的组装方式及其工艺流程主要取决于组装组件（SMA）的类型、使用的元器件种类和组装设备条件，如表 7.3 所示。



表 7.3 SMT 的组装方式

| 组 装 形 式 | 示 意 图 | PCB 设计的特征 |
|---------------------|---|------------------|
| 单面表贴 |  | 单面有表贴元器件 |
| 双面表贴 |  | 双面有表贴元器件 |
| 单面混装 |  | 单面既有表贴元器件又有插件元器件 |
| A 面混装 B 面简单表贴元器件 |  | 一面混装，另一面简单表贴 |
| A 面插件 B 面简单表贴元器件 |  | 一面插件元器件，另一面简单表贴 |

7.2.3 典型工艺流程

1. 单面表贴

- 主要工艺流程为印焊膏→贴片→再流焊接→检测。
- 单面表贴工艺流程如图 7.5 所示。

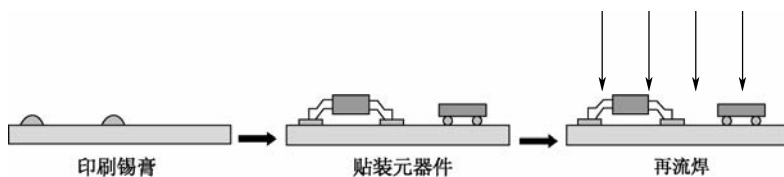


图 7.5 单面表贴工艺流程

2. 双面表贴

- 主要工艺流程为 B 面印焊膏→贴片→B 面再流焊接→翻板→PCB 的 A 面印焊膏→贴片→回流→检测。
- B 面元器件回流中靠焊料的表面张力保持不掉下来，因此 B 面物料不能太重；
- 双面表贴工艺流程如图 7.6 所示。

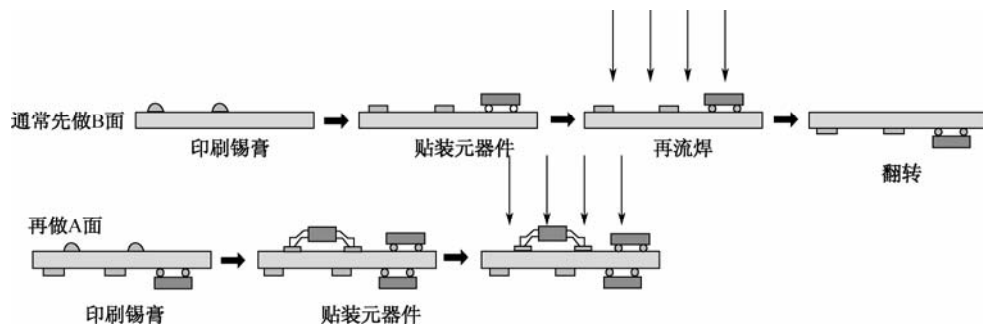


图 7.6 双面表贴工艺流程



3. 单面混装

- 工艺流程为印焊膏→贴片→再流焊接→检测→插件→过波峰→检验。
- 单面混装工艺流程如图 7.7 所示。

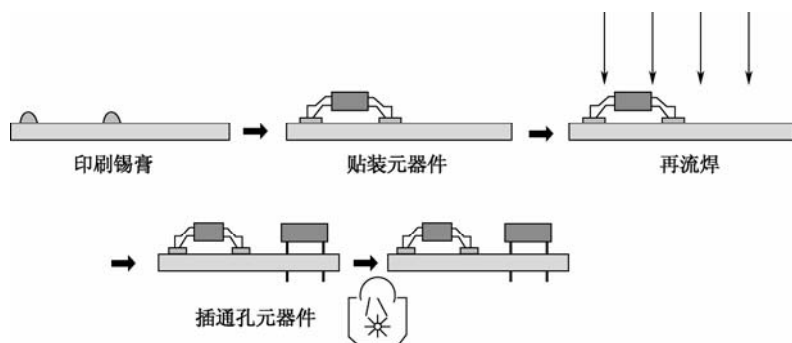


图 7.7 单面混装工艺流程

4. A 面混装 B 面简单表贴

- A 面印焊膏→贴片→A 面再流焊接→翻板→B 面点贴片胶→贴片→固化→检测→插件→过波峰⇒检测。
- A 面混装 B 面简单表贴工艺流程如图 7.8 所示。

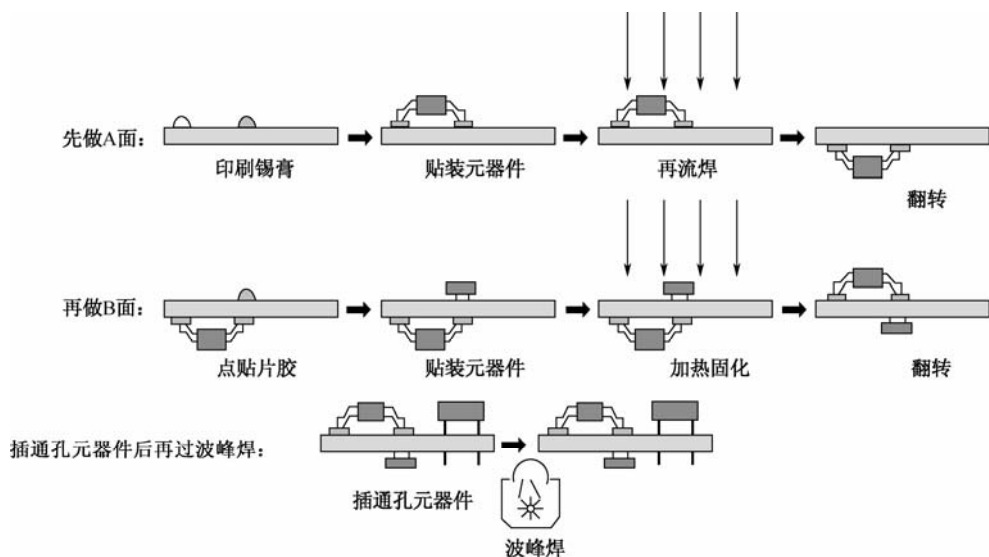


图 7.8 A 面混装 B 面简单表贴工艺流程

5. A 面插件 B 面简单表贴

- B 面点胶→贴片→固化→翻板→A 面插件→过波峰→检测。
- A 面插件 B 面简单表贴工艺流程如图 7.9 所示。

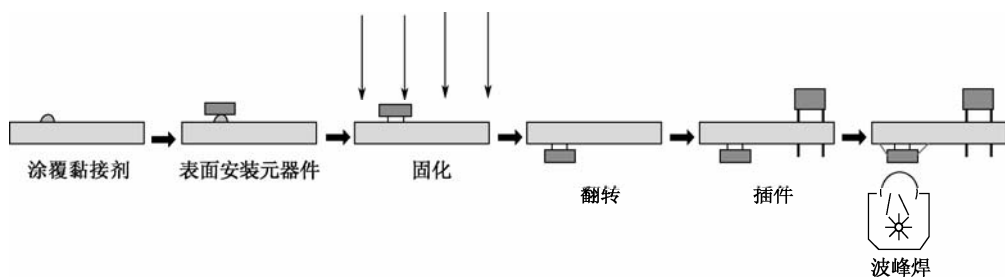


图 7.9 A 面插件 B 面简单表贴工艺流程

7.2.4 SMT 关键工序

1. 焊膏印刷

焊膏印刷工艺是整个 SMT 工艺流程中的关键工序之一，据统计 SMA 组装过程中的缺陷约有 70% 是来源于此工序的，特别是在密间距组装中尤为明显，它是引发桥连、焊点焊料不足、空洞、开路等缺陷的主要因素。归纳起来，影响焊膏印刷工序质量的变量有以下几项。

① 印刷设备：焊膏印刷机是决定印刷质量的最关键因素之一，如定位精度、离板机构、清洁能力。在选用时应该重点关注：自动光学对准系统的准确可靠性；对位精度；印刷的重复精度；上下料控制的准确性；SPC 控制功能；钢网的自动清洗系统；印刷支撑系统等。常用的焊膏印刷机有手工、半自动、全自动 3 种类型。

② 印刷模板：如材质、厚度、开口尺寸、制造工艺及孔壁的光洁度等。制作模板时需要确定几点：焊点可靠性设计所要求的必需的焊膏量；根据最佳的面积比，参考焊盘形状和尺寸，选择最佳的开孔长宽尺寸；确定模板的厚度；确定模板的制作方式；确定模板材料。

③ 刮刀：类型、材质、形状、硬度、尺寸、安装角度等。

④ 焊膏：类型、成分、颗粒大小、黏度、滚动性、脱模性、触变性、使用期限等。目前业界主要使用有铅锡膏和无铅锡膏，有铅锡膏的合金成分为 Sn63Pb，无铅膏为 SAC305 合金。根据颗粒度的大小，目前业界最常用的 3 个级别的焊膏是 3 号、4 号、5 号。

⑤ PCB 基板：尺寸精度、变形、阻焊层的平面度、PCB 表面清洁度和 PCB 的共面性。

⑥ 印刷工艺参数：印刷速度、刮刀速度、压力、模板从 PCB 上分离、基板支撑机构等。钢网的清洗处理和钢网离开 PCB 基板速度的正确运用是很关键的因素。

⑦ 操作环境：空气温度、湿度、洁净度等。

锡膏印刷的过程，刮刀印锡示意图如图 7.10 所示。

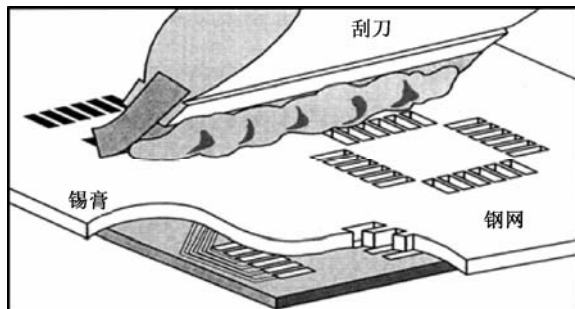


图 7.10 刮刀印锡示意图



2. 贴装 SMC/SMD

① 贴片机的分类：贴片机按贴装速度可分为低速贴装机（贴装搭载率 <3000 只/H）、中速贴装机（ 3000 只/H $<$ 贴装搭载率 <9000 只/H）、高速贴装机（ 9000 只/H $<$ 贴装搭载率 $<20\,000$ 只/H）和海量贴装机（贴装搭载率 $>20\,000$ 只/H）。贴片机按照结构可分为：复合式、拱架式、转塔式和大型平行系统。

② 贴装精度：贴装机的贴装精度通常是指贴装精度、分辨率、重复精度 3 个含义的总称。

③ 贴装机的适应性：适应性是贴装机适应不同贴装要求的能力，它包括能贴装的元器件类型、能容纳的供料器数目和类型，以及贴装机的可调整性等。

3. 再流焊接

再流焊接也称重熔焊接。它的工艺特征是先将膏状钎料印刷在 PCB 基板的焊盘区域，再将 SMC/SMD 搭载在膏状钎料上，并靠膏状钎料的黏性将其定位和固定。之后加热使膏状钎料熔化，依靠重熔钎料自身的润湿力将 SMC/SMD 的电机与焊盘熔合在一起，从而完成焊点的连接过程。

根据同时加热范围的不同和差别，再流焊接又可分为整体加热再流焊接和局部加热再流焊接两类。

① 整体加热再流焊接。整体加热再流焊接又可分为以下几类。

- 远红外线辐射加热再流焊接。
- 远红外加热和近红外加热并用的再流焊接。
- 热风对流加热和远红外加热并用的再流焊接。
- 热风对流加热和中、远红外加热并用的再流焊接。
- 热风加热再流焊接。
- 饱和蒸汽再流焊接。

② 局部加热焊接。局部加热焊接又可分为以下两类。

- 激光再流焊接。
- 光射束再流焊接。

7.3 SMT关键工序的控制与管理

SMT 中常见的以控制手段防止缺陷仪器有 AOI、SPI、X-Ray、焊膏厚度测试仪。这些仪器可以减少 PCBA 制造过程中的缺陷和缺陷成本。

绝大部分 PCBA 厂商 SMT 产线都会产生一定的缺陷和错误。例如，焊膏印刷机可能堆积了过量的焊膏造成连锡，也可能因焊膏量过少而造成焊料量不足；元器件贴装机没有将元器件贴放到适当的位置或方向不对；等等。因此，普遍使用光学检测仪器来帮助生产线管理者获得定量的检测信息，他们可以利用这些信息调整生产工艺，从而在第一时间减少缺陷。具备更低缺陷率的 PCBA 一次通过生产，可降低成本、节约时间，并可减少返修人员。



通过光学仪器来进行过程监控，厂商可以实现下述目标。

- ① 在启动一条新生产线时，发现逐渐显现出来的质量问题。
- ② 在现有生产线上保持高质量的生产。
- ③ 缩短进行改变所需的调整时间。

下面重点讲述各道关键工序的控制与管理。

7.3.1 单板生产前准备

生产之前的准备重点是需要将 PCB 进行清洁，清洁工作的目的有两点：保证 PCB 在印刷焊膏之前，能够拥有清洁的表面，避免杂质对后续焊膏焊接的过程造成影响，影响焊点的质量和可靠性；消除 PCB 表面的静电，避免静电对元器件造成损伤。

PCB 清洁设备与清洁效果如图 7.11 所示，使用清洁设备可以有效地去除 PCB 表面的杂物。

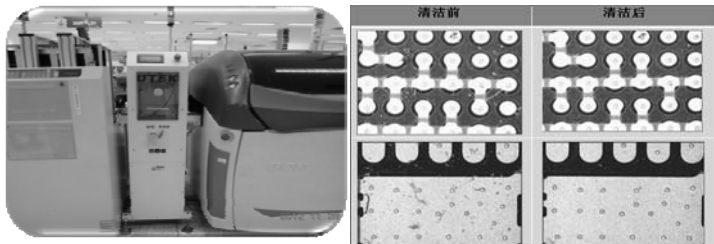


图 7.11 PCB 清洁设备与清洁效果

7.3.2 单板印刷控制

印刷工序是 SMT 工序中相对最重要的工序，有业界数据统计，炉后 70%以上的缺陷是印刷工序造成的，本工序的控制，主要从钢网设计、钢网管理、焊膏管理、顶针设置控制、工艺参数控制、印刷后检验等几个方面进行阐述。

1. 钢网设计

钢网是决定 SMT 焊膏印刷的焊膏转移量的关键工具，其开孔的大小，直接决定了元器件焊盘上的锡量多少。锡量偏多会造成炉后短路，锡量偏少则有可能造成炉后发生虚焊；只有适当的锡量，才可以获得良好的焊接。

2. 钢网管理

钢网的管理主要是为了保证加工单板使用正确且质量完好的钢网。钢网管理主要内容如下。

- ① 钢网基础信息、变更信息的查询。
- ② 通过比对排产信息，防止用错钢网。
- ③ 对钢网的状态（如破损情况、张力值等）进行更新，达不到要求系统阻止使用。
- ④ 对钢网的寿命进行管控，超过使用寿命，系统阻止使用。



- ⑤ 钢网编号与生产批次对应，便于进行质量问题的追溯。

3. 焊膏管理

焊膏是 SMT 生产过程中主要的生产辅料，用来进行 PCB 与元器件之间的焊接，是焊接过程的核心辅料，因此，对焊膏的管理也至关重要。

焊膏的管控需要涵盖入库、解冻、出库、产线使用信息维护、异常信息维护、回收等操作，通过对节点的控制，实现焊膏先进先出、冷冻时间管控、焊膏型号管控等效果，如果出现异常或者错误，系统会阻止下一步的操作。焊膏管理主要内容如下。

- ① 不同厂家、不同型号焊膏的信息查询。
- ② 通过对比排产信息，防止焊膏领用错误。
- ③ 通过对解冻时间限制，强制要求解冻时间达到要求时间，避免解冻不充分的情况出现。
- ④ 焊膏瓶码与生产批次对应，便于进行质量问题追溯。

4. 顶针设置控制

根据现场统计的数据，生产现场发生的异常中，有大约 10% 是由于印刷顶针设置不良导致的。顶针的设置可以保证单板的支持力度，保证印刷过程中焊膏转移的稳定性和均匀性，这是一个非常重要的参数，对于密间距元器件而言尤为重要。

为了管控顶针位置的设置，导入顶针模板，明确要求转线人员按照要求和指导进行顶针设置，保证顶针位置设置的一致性和准确性。下面以 DEK 机硬顶针为例。顶针是用来对单板形成支撑的金属柱，顶针的放置与顶针模板如图 7.12 所示。

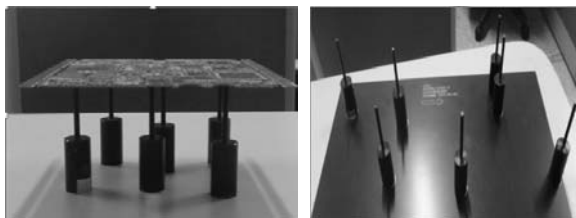


图 7.12 顶针的放置与顶针模板

5. 工艺参数控制

印刷过程中的工艺参数控制，主要是通过刮刀尺寸的选取、各个主要参数的设定范围以及具体的实现效果对技术人员进行指导。例如，网板清洗模式、擦网速度、前后刮刀压力、刮刀速度、丝网板清洗频率、分离速度、人工清洗要求等。

6. 印刷后检验

当前印刷质量检验的方式有以下 3 种。

- ① 人工目检，主要依靠放大镜在线检测。
- ② 定期用焊膏厚度测试仪测试印锡厚度。
- ③ SPI 设备在线检验。



印刷检验设备如图 7.13 所示。

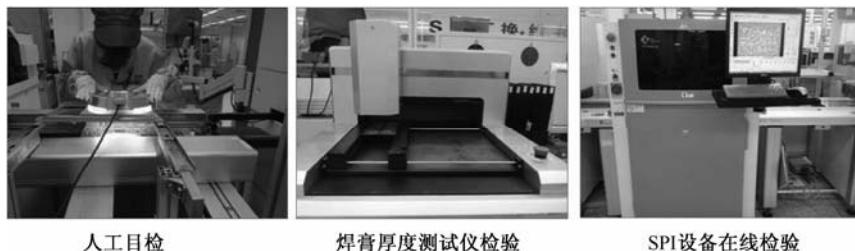


图 7.13 印刷检验设备

7.3.3 单板贴片控制

1. 贴片程序管理

贴片程序的准确性是保证产品转产质量和效率的重要环节，目前的程序制作方式无法和产品实物相关联，导致在转线过程中会经常进行调试，既影响产品质量，也影响生产效率。

通过对贴片程序规范化命名，建立程序回收机制，对生产线使用正常的程序进行回收，保证下一次生产时，最大可能地减少程序的调试，提升程序的准确性。

2. 条码管控系统

条码管控系统是一套先进的防止生产作业员接错、换错物料的防错、防呆系统，作业员进行接料作业时，系统通过扫描物料的唯一码，对比排产信息、BOM 以及贴片程序信息，验证通过才可以启动生产，如果验证有异常，设备无法消除警报直至验证通过为止，从而有效地防止了错料的情况发生。

首先对每一个最小包装的物料进行编码，使每一个最小包装获得一个唯一码，通过对该唯一码进行信息维护，如厂家、批次、物料类型、包装数量等，使之具有唯一的信息。条码管控系统如图 7.14 所示。

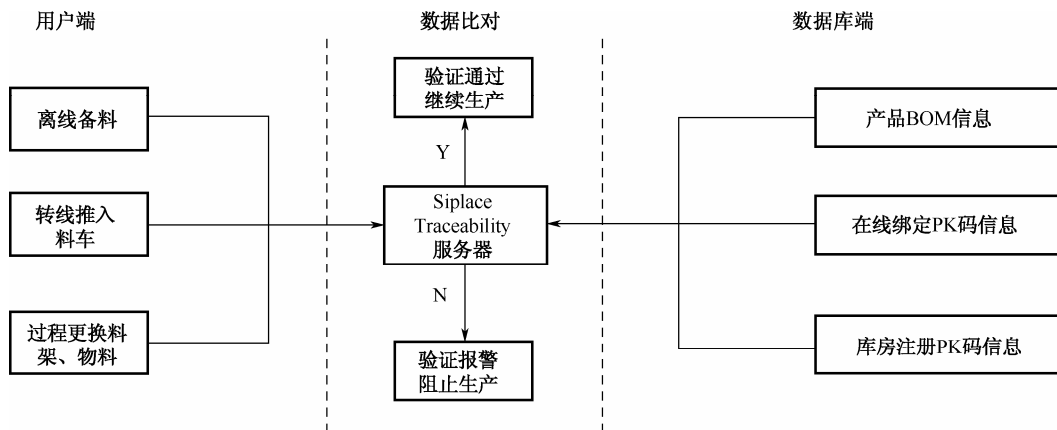


图 7.14 条码管控系统



3. 设备履历表

为了保证设备的状况正常,满足生产要求,通过建立每条线体的设备履历表,记录线体的异常情况,明确措施和责任人,并对问题进行跟踪,使之能够达到保障设备正常运行,降低设备异常事件的作用。

建立《设备异常履历表》,记录 SMT 所有线体的整体运行状况,没有问题为“OK”,只要有异常即为“NG”。建立《设备异常跟踪表》,记录每条线的异常明细及处理过程、责任人、完成情况,便于对问题进行跟踪。通过对设备履历表的管理,已有问题关闭情况和设备平均每月故障时间这两项指标明显偏向好转。

4. 贴装工艺控制

按照工艺过程控制的六要素(人、机、料、法、测、环),假定机、料、测和环已经按照要求控制到位,那么应重点关注人、工艺规程、操作方法和工序管理等要求。为使工艺处于受控状态,需要严格的纪律,加强操作人员和技术人员的培训,提高技术水平,改进操作方法,使工艺过程稳定。

要确保贴装工序贴装质量达到规定的质量水平,不仅要求贴装工序具有很高的工艺能力,而且还要求在日常生产过程中工序一直能保持这种高水平的生产状态,即工序一直处于受控状态。就贴装工序来说,要求的主要质量指标似乎有很多,如偏位、贴错、侧立、翻转、元器件损伤和抛料等。在这些不良现象中,贴错、侧立、翻转、元器件损伤和抛料等是偶发性的,在开始批量生产前通过首件检验即可发现,并采取措施后即可消除。而偏位是最常见的影响因素,也是最复杂,而且是动态变化的因素。因此,偏位是贴装工序工艺过程控制中需要重要监控的因素。

5. 贴装工艺能力系数 CPK

影响贴装工序的工艺能力主要有以下 4 种因素。

① 贴装机:含贴装机精度、贴装高度、贴装压力、真空吸力等,它们共同构成了贴装设备本身的过程能力系数 CPK。

② 材料:此处的材料实际指的是 PCB 和元器件。

③ 人:包括与该工序直接相关的操作人员的技术水平等。

④ 工艺:包含工艺方法、工艺规范和操作规程等。

在大批量生产中,当对贴装工序要求的不良品率不大于 5×10^{-6} 时,要求贴装工序实际的工艺能力系数 $CPK \geq 1.50$ 才行。

6. AOI 测评及闭环控制

AOI 的 SOC 处理和控制功能不仅要输出均值和极差两个控制图,而且还要形成“偏移”的修正量,并反馈到贴装机相对应元器件贴装位置数据库进行修正,以减小偏移量,实现闭环控制的目的。



7.3.4 单板回流控制

回流是 SMT 实现焊接的过程，在这个过程中，焊膏将熔化，并与元器件、PCB 表面形成合金。回流工序的温度设置是 SMT 工序的核心参数之一，对回流工序的核心参数的管理意义重大。重点是选取合适的炉温和调用正确的炉温。

7.3.5 炉后质量检验

SMT 炉后检验目前业界常用的为 AOI 设备检测，对设备报警的位号，由人工确认其焊接情况。

在现代电子产品组装生产中，不恰当的再流温度-时间曲线设置、不合理的材料选择及较差的焊接环境等因素可能产生很多的焊接缺陷，最终可能带来长期的可靠性问题。常见的主要焊接缺陷包括较差的润湿性（虚焊、冷焊、空焊）、钎料球、墓碑、芯吸、桥连、封装体开裂、过度的金属件化合物生长、焊点空洞等。

1. 虚焊

再流焊接中元器件的一个或多个引脚不能与焊盘正常接触称为焊点脱开，即我们俗称的虚焊。

2. 钎料球

钎料球是指焊接过程中，钎料由于飞溅等原因在 PCB 上的某些位置形成有规则的分散小球，即常见的锡珠。它们常见于元器件引脚周围及在引脚的焊盘的间隙等地方，也有出现在离焊点很远的位置。它们一般是成群的、离散的，以小颗粒形式出现。这种小球会在 PCB 的两个相邻部件（如导线、焊盘、引脚等）之间产生电流泄漏和电气噪声，甚至短路，带来长期的可靠性隐患。

3. 墓碑现象

这种现象多发生在小型片式元器件上，当它们被焊接在与两个电机相对应的表面贴装焊盘上时，在焊接过程中元器件垂直地立起来，有时是部分直立，有时元器件完全立在一个焊盘上，就像墓地的墓碑似的。

4. 芯吸现象

PCBA 在再流焊接过程中，由于 PCB 和元器件本体本身的热容量比引线的热容量大，所以引线要比 PCB 焊盘先达到钎料熔融温度而形成较大的温度差，从而液态钎料以比在焊盘区表面扩展更快的速度被吸向引线上部而形成芯吸现象。



5. 桥连现象

两个相邻的导体或电机间被钎料连接起来的不良现象。

6. 封装体起泡和开裂

由于保管或者使用过程中树脂吸湿，在含有水分的封装体进入再流焊接时伴随急剧升温，将出现水蒸气汽化而发生封装体爆裂。

7.4 SMT过程控制中应注意的问题

7.4.1 关注检测过程

许多公司对产品缺陷发生率的反应是被动的，因为它们大多数的工作是去计数缺陷而不是检测过程。事实上，计数缺陷是被动性的反应，因为缺陷已经发生了。检测过程是主动性的反应，因为这是一个帮助防止缺陷发生的方法。当然计数缺陷是质量控制计划的一部分，但更重要的工作是检测其过程 and 把注意力集中在缺陷的预防上。

过程在控制中是受控还是失控，能生产可接受的产品还是不能生产，如果均为后者，则应采取以下 3 个层次的措施。

- ① 失效分析：利用现有的技术与工具来有效地分析和研究典型的过程与产品问题。
- ② 解决问题：利用现有的技术和工具来分析、隔离问题的根源。
- ③ 改正行动：找到这些原因之后，可寻求和实施永久的解决方法。

7.4.2 动作和措施的执行

过程控制将过程能力、稳定性和可重复性达到和维持在一个期望的水平。过程控制不只是统计，它是一系列动作和措施的有序集合。

- ① 定义组装要求。
- ② 建立组装过程。
- ③ 定义过程参数。
- ④ 定义过程品质计划。
- ⑤ 制定组装过程文件。
- ⑥ 培训员工和发上岗证。
- ⑦ 开始少量生产。
- ⑧ 收集特征数据和变量数据。
- ⑨ 计算过程能力。
- ⑩ 开始批量生产。
- ⑪ 继续收集数据。



如果按序执行和落实了这些动作和措施，那么过程控制的目标就会达到。

7.4.3 正确分析缺陷原因

一般缺陷原因有以下 4 种。

- ① 过程能力不良：这意味着过程不能达到所希望的结果。例如，一台不能持续产生所希望的胶点尺寸的点胶机。
- ② 过程执行不完善：在这里过程是可行的，但整体执行差。例如，操作员没有按照工艺文件执行。
- ③ 材料缺陷：如密间距元器件的引脚不能持续地满足共面性规格要求。
- ④ 可制造性设计存在问题：如 PCB 设计的组装工艺不良，造成组装困难。

思 考 题

- ① 什么是 SMT？SMT 的特点有哪些？
- ② SMT 工程的主要组成部分有哪些？
- ③ SMT 典型的组装方式和工艺流程有哪些？
- ④ SMT 的关键工序有哪些？每个工序的作用和注意事项有哪些？
- ⑤ SMT 的关键物料有哪些？
- ⑥ SMT 每个关键工序如何控制？应该注意哪些事项？
- ⑦ SMT 过程中应注意的事项有哪些？

第 8 章 再流焊接工艺基础知识



本章要点

- 📁 名词定义
- 📁 再流焊接的物理过程
- 📁 再流焊接工艺参数的确定
- 📁 通孔再流焊接工艺
- 📁 无铅再流焊接技术
- 📁 再流焊接工艺中常见的缺陷



8.1 名词定义

① 焊膏：一种均质混合物，由一定合金比例的焊料金属粉、糊状助焊剂和一些添加剂混合而成的具有一定黏性和良好触变性的膏状体。在常温下，焊膏可将电子元器件粘贴在既定位置，当被加热到一定温度时随着溶剂和部分添加剂的挥发、合金粉的熔化、使被焊元器件端子和焊盘连在一起，形成永久的连接焊点。

② 润湿：熔化的钎料在金属表面上附着和流动形成光滑、均匀的涂覆层。润湿的特征是在基体金属和钎料的衔接表面形成羽状的棱边。

③ 不润湿：在基体金属表面不能产生连续的钎料薄膜，不能和基体金属发生任何冶金反应，在宏观上可以明显地看到裸露的基体金属表面。

④ 反润湿：焊料首先润湿基体金属表面，然后因润湿不好而回缩，从而在基体金属表面上留下一层很薄的钎料，同时又断断续续地有些分离，而且有很大接触角的钎料球。

⑤ 可焊性：适当加上助焊剂并加热，使钎料在金属表面上自由流动而实现可靠钎接的能力。

⑥ 冷坍塌：焊膏经模板印刷后在室温至升温区过程中产生焊膏塌边等焊膏扩散的现象。

⑦ 热坍塌：在预热保温区至回流前产生焊膏塌边等焊膏扩散的现象。

⑧ 冷焊点：在再流焊接过程中由于热量不足，钎料未达到润湿温度，接合界面未发生冶金反应的焊点。

⑨ 再流焊接：利用加热将覆有焊膏区域内的球形粉粒状钎料熔化、聚集，并利用表面吸附和毛细作用填充到焊缝中而实现冶金连接的工艺过程。

⑩ 单面再流焊：PCB 板通过 SMT 工序时，只有一面进行焊膏再流焊接，而另一面采取其他焊接工艺，如波峰焊接等。

⑪ 双面再流焊：PCB 板在 SMT 工序中，两个外表面都要进行焊膏再流焊接的工艺。

⑫ 回流温度曲线：在再流焊接设备内，印制电路板组件以某一速度通过再流焊接设备的整个工作区域时，所测得的温度随时间（或距离）的分布规律称回流温度曲线。回流温度曲线的建立是在综合考虑了焊膏、PCB、元器件和设备等诸因素后的结果。

8.2 再流焊接的物理过程

当将焊膏置于一个加热的环境中，焊膏回流分为以下 5 个阶段。

① 首先，用于调节所需黏度和印刷性能的溶剂开始蒸发，温度上升必须慢（大约 3°C/s ），以限制沸腾和飞溅，防止形成小锡珠。另外，一些元器件对内部应力比较敏感，如果元器件外部温度上升太快，会造成断裂。

② 助焊剂开始激活，化学清洗行为开始，水溶性助焊剂和免洗型助焊剂都会发生同样的清洗行动，只不过温度稍微不同。将金属氧化物和某些污染从即将结合的金属和焊料颗粒



上清除,以获得冶金学上所要求的良好焊点的清洁表面。

③ 当温度继续上升,焊料颗粒首先单独熔化,并通过表面的芯吸过程聚合在一起,以利在所有可能的表面上覆盖,并开始形成焊点。

④ 当单个的焊料颗粒全部熔化后,聚合一起形成液态焊料,这时表面张力发挥作用开始形成焊脚表面,如果元器件引脚与 PCB 焊盘的间隙超过 0.1mm,则极有可能由于表面张力使引脚和焊盘分开,即造成焊点开路。

⑤ 冷却阶段,如果冷却快,锡点强度会稍微大一点,但不可以太快而引起元器件内部的温度应力。

总而言之,再流焊接过程中,重要的要有充分、缓慢加热来安全地蒸发溶剂,防止锡珠形成和限制由于温度膨胀引起的元器件内部应力,造成断裂痕可靠性问题。其次,助焊剂被激活阶段必须有适当的时间和温度,允许清洁过程在焊料颗粒刚刚开始熔化时完成。时间温度曲线中焊料熔化的阶段是最重要的,必须充分地让焊料颗粒完全熔化,液化形成冶金焊接,剩余溶剂和助焊剂残余蒸发,形成焊脚表面。此阶段如果太热或太长,可能对元器件和 PCB 造成伤害。焊膏回流温度曲线的设定,最好是根据焊膏供应商提供的数据进行,同时把握元器件内部温度应力变化原则,建议加热升温速度小于 $3^{\circ}\text{C}/\text{s}$,冷却速度小于 $6^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 。PCB 装配如果尺寸和质量类似的话,可用同一个温度曲线。重要的是要经常甚至每天检测温度曲线是否正确。

8.3 再流焊接工艺参数的确定

8.3.1 再流焊接温度曲线

1. 影响再流焊接温度曲线的因素

设定再流焊接温度曲线,就是确定 PCB 组件在再流焊接过程中所必须经历的一个温度-时间关系。这种关系由焊膏特性决定,如焊料合金成分、焊料颗粒尺寸、金属含量以及焊膏中的化学成分等。对具体的 PCBA 而言,为达到所要求的温度曲线,回流炉各温区温度和传送速度的设定还必须考虑产品的大小、表面形状的复杂性及基板的热传导性能,同时也要考虑再流焊接炉能否提供足够大的热能,所有这一切都影响发热器的设定和再流焊接炉传送带的速度。而再流焊接炉的热传递效率及操作经验,则只会影响到达温度曲线前反复试验的次数。

针对某种使用的焊膏,其温度-时间关系通常都由制造商提供,一般在产品资料中可以找到。焊膏是制造商的配方,制造商将建议最佳的温度曲线,以达到最高的性能。他们知道什么样的温度曲线才能使之充分回流。

最常见的配方类型:水溶性(OA)、松香适度活化型(RMA)和免洗型焊膏。



2. 再流焊接温度参数的确定

(1) 最高温度 (T_2)

PCBA 能承受的最高温度取决于它上面所有元器件或材料耐温的最低值,也就是最脆弱元器件 (MVC) 的耐温值 (T_2)。

MVC 是指 PCBA 上对最低温度“痛苦”忍耐度的元器件。从这点来看,应该建立一个低过 5°C 的“缓冲区”,即将这个温度减去 5°C 作为产品的最易受损的温度 T_2 。在 PCBA 上典型的 MVC: 连接器、双排封装 (DIP) 的开关、发光二极管 (LED)、基板材料等。MVC 随应用不同而不同,应用时要特别关注,回流时温度不能超过该值。

(2) 最低温度 (T_1)

涉及的第一个温度是完全液化温度或最低回流温度 (T_1)。该温度也是理想的润湿、再流焊或完全液化的温度,它一般比合金熔点高 $20\sim 25^{\circ}\text{C}$ 。在这点,熔化的焊料可流过将要润湿来形成焊接点的金属表面。它取决于焊膏内特定的合金成分,但也可能受焊料球尺寸和其他配方因素的影响,也可能在数据表中指出的是一个范围,如图 8.1 所示。

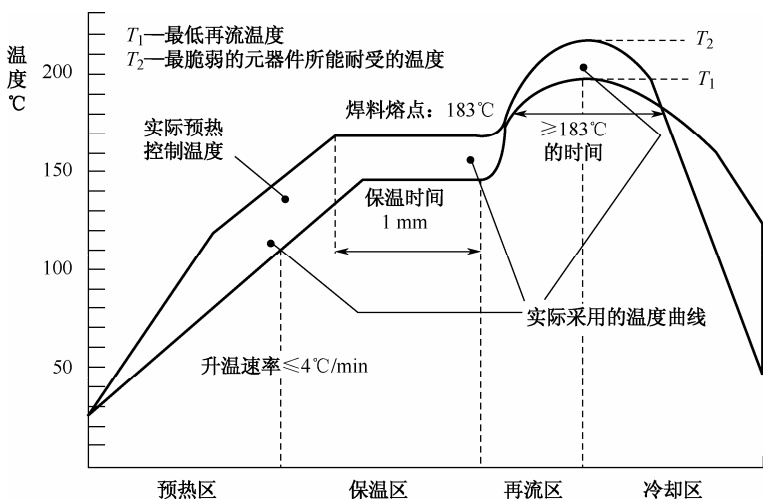


图 8.1 有铅再流焊接温度曲线

说明如下。

- T_2 是再流焊接的最高温度,它取决于对温度最脆弱的元器件的耐热性。
- T_1 是完全液化温度或最低回流温度。在该温度上,熔化的焊料可以漫流将要润湿形成焊接点的金属表面。它受焊膏内特定的合金成分、焊球尺寸及其配方等因素的影响。因此,对特定焊膏给定的最小值,就成为每个焊接连接点必须获得的最低温度。这个温度通常比焊料的熔点高出 $20\sim 25^{\circ}\text{C}$,而认为只要达到焊料熔点即可是一个错误的说法。

举例如下。

- ① 有铅焊膏 (Sn63/Pb37)。
- 成分特征: 共晶组分。



- 液相温度: 183°C 。
- 固相温度: 183°C 。
- 液固温差: $\Delta T=0^{\circ}\text{C}$ 。
- 最低回流温度范围: $T_1 = 183 + (20 \sim 25) \approx (200 \sim 220)^{\circ}\text{C}$ 。
- 合适的回流峰值温度: 225°C 左右。

② 有铅焊膏 (Sn62/Pb36/Ag2)。

在 Sn/Pb 焊膏中掺入少量的 Ag ($0.5 \sim 2$)%，不但可以使焊料的熔点降低，而且还可以改善焊料的扩散性，提高焊接强度，使焊点更光亮美观，其主要特性如下所述。

- 成分特征: 非共晶组分。
- 液相温度: 183°C 。
- 固相温度: 179°C 。
- 液固温差: $\Delta T=4^{\circ}\text{C}$ 。
- 最低回流温度范围: $T_1 = 183 + (20 \sim 25) \approx (200 \sim 220)^{\circ}\text{C}$ 。
- 合适的回流峰值温度: 225°C 左右。

③ 无铅焊膏 (96.5Sn/3Ag/0.5Cu)。

成分为 96.5Sn/3Ag/0.5Cu 无铅焊膏，该成分在日本的型号为 M705，为日本电子工业发展协会推荐使用的无铅焊膏，其主要特性如下所述。

- 成分特征: 非共晶组分 (共晶组分为 96.5Sn/3.0Ag/0.5Cu)。
- 液相温度: 220°C 。
- 固相温度: 217°C 。
- 液固温差: $\Delta T=3^{\circ}\text{C}$ 。
- 最低回流温度范围: $T_1 = 220 + (15 \sim 20) \approx (235 \sim 240)^{\circ}\text{C}$ 。

(3) 温度梯度

PCBA 上温度的最大梯度为 T_2 (MVC) 减去合金化的液态温度 T_1 ，再流焊的最高温度范围一经确定，那么也就能定出产品允许的最大温度梯度 ($T_2 - T_1$)。能否让温度曲线处在这个范围之内，取决于产品的大小、表面几何形状的大小与复杂性、PCB 基板的化学成分和再流焊接炉的热传导效率等因素。理想状态是希望温度梯度尽量小，同时峰值温度尽可能接近 (但不低于) T_1 ，以获得最小的温度变化率，缩短液态居留时间和产品在最高温度中的停留时间，减少液态对高温漂移的暴露量。

按照传统做法，再流焊温度曲线的设定就是要让液态保持时间最短，并与焊膏制造商要求的温度-时间关系相符。液态保持时间太长会导致焊点内部合金过度生长，对焊点的长期可靠性造成影响，并使基板和元器件性能下降。

对于温升速率，业内人士较普遍采用每隔 20s 取一点的方式进行量测，温升速率小于或等于 4°C/s 。一个比较好的做法是使冷却速率和加热速率一样或更低，也即爬升的速度与下降的速度一样，以免对元器件造成热冲击。

焊膏制造商提供基本的时间-温度关系资料，它应用于特定的配方，通常可在产品的数据表中找到。可是，元器件和材料将决定装配所能忍受的最高温度 T_2 。

作为一般原则，所希望的温度梯度是在 $2 \sim 4^{\circ}\text{C}$ 范围内，以防止由于加热或冷却太快对

板或元器件造成损害。

3. 温度曲线的作用及构成

(1) 温度曲线的作用

再流焊接工艺过程中,在再流焊接炉内将 PCBA 加热到适当的焊接温度,而不损伤产品。为了检验再流焊接工艺过程,人们使用一个做温度曲线的设备来确定工艺设定。温度曲线是每个传感器在经过加热过程中时间与温度的可视数据的集合。通过观察这条曲线,可以从视觉上准确地看出多少能量施加在产品上,能量施加在哪里。温度曲线允许操作员进行适当改变,以优化回流工艺过程。

做温度曲线有两个主要目的:为给定的 PCBA 确定正确的工艺设定;检验工艺的连续性,以保证可重复的结果。

通过观察 PCB 在再流焊接炉中经过的实际温度(温度曲线),可以检验和纠正炉温参数的设定,达到 PCBA 持续的、最佳的品质,降低 PCBA 的报废率,降低生产成本。

(2) 温度曲线的构成

理论上理想的曲线由 4 部分或区间组成,前面 3 个区加热、最后 1 个区冷却。再流焊接炉的温区越多,越能使温度曲线的轮廓达到更准确和接近设定。大多数焊膏都能用 4 个基本温区成功地回流。

如图 8.2 所示是传统的回流温度曲线。最初的 100℃是预热区,紧跟着其后是保温区,在此区温度持续在 150~170℃之间(对 Sn63/Pb37)。然后,PCBA 被加热超过焊料熔点,进入回流区,再到峰值温度,最后离开再流焊接炉的加热部分。一旦通过峰值温度,PCBA 便冷却下来。

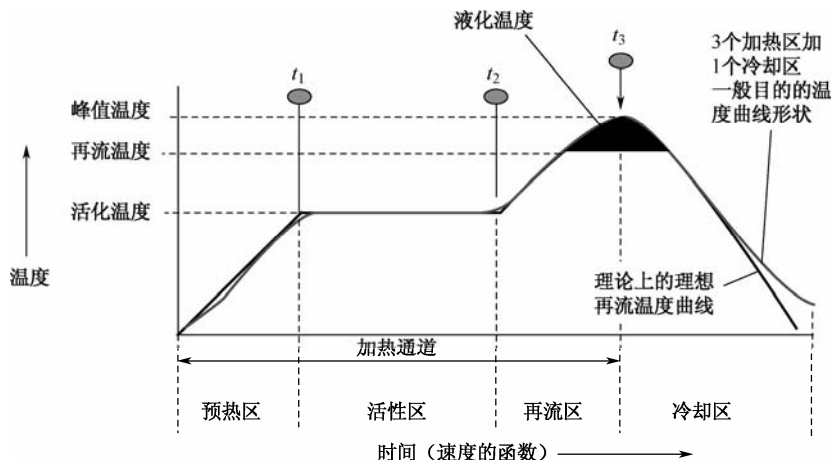


图 8.2 传统的回流温度曲线

一个典型的温度曲线包含几个不同的区域。

① 预热区。

预热区也称斜坡区、初始升温区,用来将 PCB 的温度从周围环境温度提升到助焊剂所



需要的活化温度。在这个区, PCBA 的温度以不超过 $2\sim 4^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 速率连续上升, 温度升得太快会引起某些缺陷, 如陶瓷电容易产生细微裂纹。再流焊接炉的预热区一般占整个加热通道长度的 $25\%\sim 33\%$, 目的是要将焊膏升到助焊剂开始激化所希望的保温温度。

② 保温区。

保温区也称浸润区或活性区, 最理想的保温温度是刚好在焊膏材料的熔点之下, 对于 Sn63/Pb37 共晶焊料为 183°C , 保温时间在 $30\sim 90\text{s}$ 之间。

保温区有两个作用。

一是将 PCB、元器件和材料升到一个均匀的温度 (接近焊膏的熔点), 从而为后续较容易地转变到回流区创造条件。

二是激活焊膏中的助焊剂。在保温温度下, 挥发性的物质从焊膏中挥发, 激活的助焊剂开始进入清除焊盘与引脚表面上的氧化物过程, 以获得焊料润湿所需要的清洁表面。通常活性温度范围为 $120\sim 150^{\circ}\text{C}$ 。

这个区一般占加热通道的 $33\%\sim 50\%$, 虽然有的焊膏制造商允许活性化期间温度有些增加, 但理想的曲线要求有相当平稳的温度, 这样使得 PCBA 上的温度在活性区开始和结束时达到相等。

③ 回流形成峰值温度区。

回流形成峰值温度区也称最后升温区。这个区的作用是将 PCBA 的温度从活性温度提高到所推荐的峰值温度。活性温度总是比合金的熔点温度低一点, 而峰值温度总是在熔点温度之上。对 Sn63/Pb37 的典型峰值温度范围是 $205\sim 230^{\circ}\text{C}$, 这个区的温度设定太高会使其温升斜率超过 $2\sim 5^{\circ}\text{C}/\text{s}$, 或者出现回流峰值温度超过推荐值。这种情况可能会引起 PCB 的过分卷曲、脱层或烧损, 并损害元器件的完整性。

④ 回流区。

回流区也称峰值区。进入此区域焊膏中的焊料颗粒首先单独熔化, 然后通过芯吸过程集聚, 覆盖在所有可能要连接的表面上, 与母材金属表面发生冶金反应而完成焊接过程。

PCBA 进入回流区通常称为液态以上时间 (TAL)。回流阶段是再流焊接炉内的关键阶段, PCBA 上的温度梯度必须最小, TAL 必须保持在焊膏制造商所规定的数值之内。PCBA 的峰值温度也是在这个阶段达到的。

必须小心的是, 不要超过 PCB 板上任何温度敏感元器件的最高温度。例如, 一个典型的钽电容具有的最高温度为 230°C 。理想情况是: PCBA 上所有的点应该同时、同速率达到相同的峰值温度, 以保证所有元器件在炉内经历相同的环境。

回流时间一般为 $30\sim 60\text{s}$, 最长不超过 90s 。对于有铅焊膏回流时间的控制应确保 SMA 处于 225°C 以上的时间小于 10s , 215°C 以上的时间小于 20s 。

冷却速度快些, 焊点强度会稍大一点, 但太快会引起元器件内部的温度应力, 故冷却速率一般推荐为 $3\sim 10^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 。

⑤ 冷却区。

在回流区之后即进入冷却区, 即产品从焊料熔点开始冷却至 75°C 以下的过程。控制冷却速度也是很关键的, 冷却太快可能会损坏 PCBA, 冷却太慢将增加 TAL, 可能会造成脆弱的焊点。

理想的冷却区曲线应该是和回流区曲线成镜像关系。越是靠近这种镜像关系, 焊点达到



固态的结构越紧密，得到焊接点的质量越高，结合完整性越好。

4. 温度曲线参数的设定

(1) 传输速度

做温度曲线的第一个考虑参数是传输带的速度设定，该设定将决定 PCBA 在加热通道所花的时间。典型的焊膏制造厂要求的加热时间为 3~4min。加热时间的计算可用总的加热通道长度除以总的加热时间，即为准确的传输带速度。例如，当焊膏要求 4min 的加热时间，使用 1.83m 加热通道长度，计算的传输速度为： $1.83 \div 4 = 0.458\text{m/min}$ 。

(2) 各区温度的设定

接下来必须决定各个区的温度设定，要明确实际的区间温度不一定是该区的显示温度。显示温度只是代表区内温度传感器的温度。如果温度传感器越靠近加热源，显示的温度也将越高，而越靠近 PCB 的通道，显示的温度将越能反应区间温度。显示温度和实际区间温度的关系，取决于再流焊接炉的设计和制造状态。本文中考虑的是区间温度而不是显示温度。如表 8.1 所示是适用于典型回流的区间温度设定。

表 8.1 典型回流的区间温度设定

| 区 间 | 区间温度设定 | 区间实际板温 |
|-----|--------|--------|
| 预热 | 210℃ | 140℃ |
| 活性 | 177℃ | 150℃ |
| 再流 | 250℃ | 210℃ |

5. 温度曲线参数的调整

速度和温度确定后，必须输入到再流焊接炉的控制器中。参看焊膏资料上其他需要调整的参数，这些参数包括冷却风扇速度、强制空气冲击和惰性气体流量。一旦所有参数输入后，启动机器，待再流焊接炉稳定后（即所有实际显示温度接近符合设定参数）即可开始做曲线。

将 PCB 放入传送带，触发测温仪开始记录数据。一旦最初的温度曲线图产生，即可和焊膏制造商推荐的曲线或如图 8.3 所示的曲线进行比较。

观察从环境温度到回流峰值温度的总时间和所希望的加热曲线居留时间是否相协调，如果太长，则按比例地增加传送带速度，如果太短，则相反。

将图形曲线的形状和所希望的曲线相比较（见图 8.3），如果形状不协调，则再同下面的图形（见图 8.4 至图 8.6）进行比较。选择与实际图形形状最相近的曲线。

要考虑从左到右（流程顺序）的偏差，例如，当预热和回流区中存在差异时，首先要将预热区的差异调正确。一般最好每次调一个参数，在做进一步调整之前先运行这个设定曲线，因为一个给定区参数的改变也将影响随后区的结果。

当最后的曲线图基本上与所希望的图形相吻合后，再将再流焊接炉的参数记录或储存以备后用。

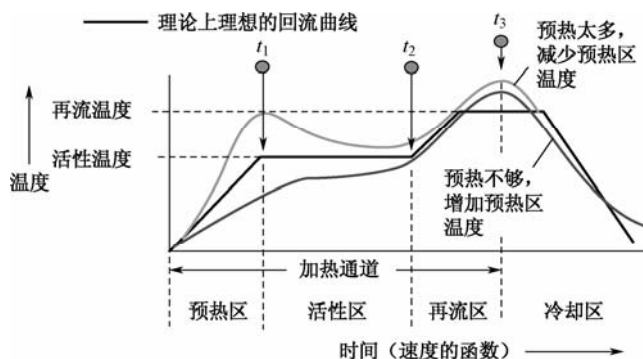


图 8.3 不同温度曲线的形状和所希望的曲线相比较 1

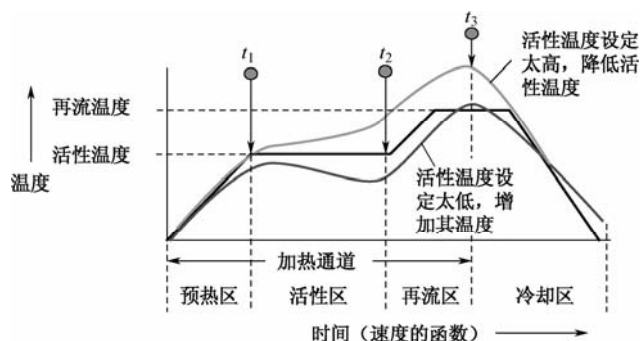


图 8.4 不同温度曲线的形状和所希望的曲线相比较 2

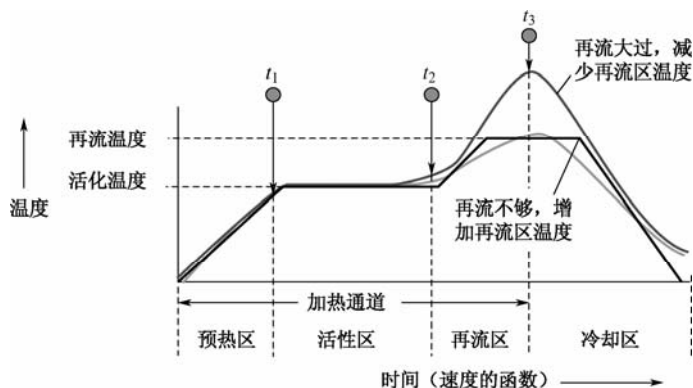


图 8.5 不同温度曲线的形状和所希望的曲线相比较 3

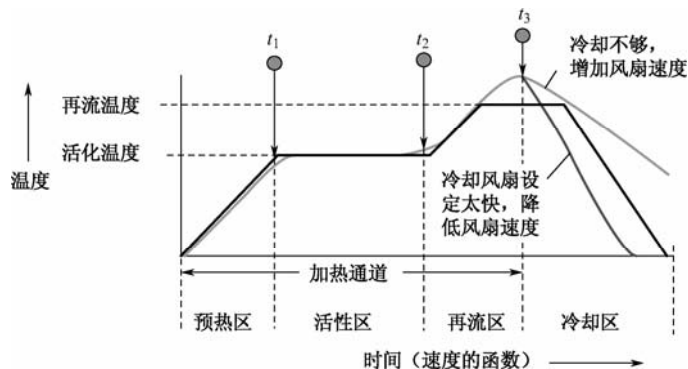


图 8.6 不同温度曲线的形状和所希望的曲线相比较 4



上述操作过程中，第一次操作时虽然很慢、很费力，但最终结果将得到高品质、高效率的 PCBA 的生产效果。

8.3.2 业界常用的温度曲线类型

在再流焊接工艺中，目前业界较普遍使用的两种温度曲线为保温型和帐篷型。

1. 保温型温度曲线

保温型温度曲线又称升温-保温-回流（RSS）温度曲线，它可用于 RMA 或免洗化学成分的焊膏，但一般不推荐用于水溶化学成分的焊膏，因为 RSS 保温区可能过早地破坏焊膏活性剂，造成湿润不充分。

使用 RSS 温度曲线的唯一目的是消除或减少温度差。因此，RSS 温度曲线的特征是存在保温区（浸润区）。理想的保温型曲线如图 8.3 所示，但生产实际所测得的实际的温度-时间曲线如图 8.7 所示。

RSS 温度曲线开始以一个陡坡温升，在 90s 的目标时间内大约升到 150°C ，最大速率可达 $2\sim 3^{\circ}\text{C/s}$ 。随后，在 $150\sim 170^{\circ}\text{C}$ 之间，将 PCBA 保温 90s 左右；PCBA 在保温区结束时达到温度均衡。保温区之后，PCBA 进入回流区，在 183°C 以上的回流时间约为 $60\text{s}\pm 15\text{s}$ 。

整个温度曲线应从 45°C 到峰值温度 $215^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ 持续 $3.5\sim 4\text{min}$ 。冷却速率应控制在 4°C/s 。一般来说，较快的冷却速率可得到较细的颗粒结构和较高强度及较亮的焊接点，但是冷却速率大于 4°C/s 会造成温度冲击。

再流焊前的浸润区从热机械角度来看有其重要性，它可以使板子上温度较低的部分赶上温度较高的部分，从而达到温度均衡，并且降低了 PCB 的温度梯度。

2. 帐篷型温度曲线

帐篷型温度曲线也称为升温-回流（RTS）曲线。RTS 温度曲线的特征是一个连续的温度上升，从 PCBA 进入再流焊接炉开始，直到达到所希望的峰值温度，这是一条斜升式温度曲线。因此，也有人干脆将其称为斜升式温度曲线。

RTS 曲线温升区的作用是 PCBA 的预热区，在这里助焊剂被激化，溶剂被挥发，PCBA 准备回流，并防止温度冲击。RTS 曲线典型的升温速率为 $0.6\sim 1.8^{\circ}\text{C/s}$ 。升温的最初 90s 应尽可能保持线性。

典型的帐篷型温度曲线如图 8.7 所示。

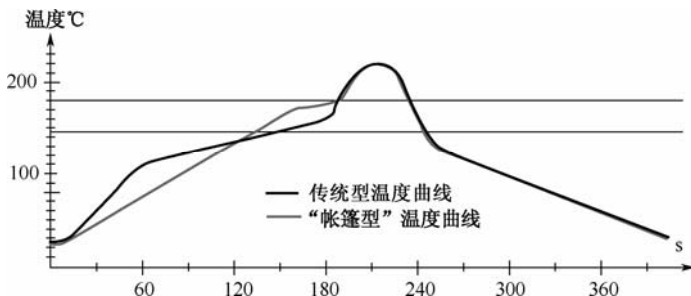


图 8.7 典型的保温型（传统型）温度曲线和帐篷型温度曲线



RTS 温度曲线可用于任何化学成分或合金，被水溶焊膏和难于焊接的合金与零件所首选。它不适用于 PCBA 上存在较大的温差，如工序中使用了夹具或效率低的再流焊接炉。

RTS 温度曲线比 RSS 有几个优点。

- RTS 一般能得到更光亮的焊点，可焊性问题较少。因为在 RTS 温度曲线下回流的焊膏在预热阶段保持其助焊剂载体，有助于更好地提高湿润性。因此，RTS 更适用于难以润湿的合金和零件。
- RTS 曲线的升温速率是受控的，所以很少机会造成焊接缺陷或温度冲击。
- RTS 曲线更经济，因为减少了炉前半部分的加热能量。
- 可以使再流焊时间减少 1~2min，也就是说减少 20% 的再流焊时间。
- 排除 RTS 的故障相对比较简单。
- 缩短了玻璃环氧基板在玻璃转换温度 (T_g) 之上的停留时间，可防止 PCB 基板性能下降，并降低发生翘曲的可能性，而且焊点良好率也在提高。

RTS 曲线的升温基本原则如下。曲线的 2/3 左右在 150℃ 以下。在超过 150℃ 时，大多数焊膏内的活性系统开始很快失效。因此，保持曲线的前段温度低些，可将活性剂保持时间更长一些，其结果是可获得良好的湿润和光亮的焊接点。

RTS 曲线回流区是 PCBA 达到焊料回流温度的阶段。在达到 150℃ 之后，峰值温度应尽快达到，峰值温度应控制在 $215^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ ，液化居留时间为 $60\text{s} \pm 15\text{s}$ 。液相线之上的这个时间将减少助焊剂夹渣和空洞，增加拉伸强度。

与 RSS 一样，RTS 曲线从室温到峰值温度的时间也应控制在 3.5~4min，冷却速率控制在 4°C/s 以内。

某些 PCB 板镀层可能会增加曲线峰值温度，如焊接 Au/Ni 镀层的焊盘，峰值温度至少应达到 220℃，这样可以防止回流后出现可靠性问题，因为锡和金在 217℃ 时会形成第二种共晶合金。

如果焊接有机表面防护涂层 (OSP) 的焊盘，可能要求达到 225℃ 的峰值温度，以完全渗透涂层。不论使用哪一种温度曲线都有必要调节峰值温度。

8.4 通孔再流焊接工艺

8.4.1 采用通孔再流焊接工艺的目的

通孔元器件的再流焊接，就是将这些通孔元器件融合到表面贴装工艺中去，尽可能地消除混装 PCBA 波峰焊接工艺的一种新的工艺方法。从工艺角度来看，PCB 减少一次加热过程，这对潜在的温度损害和抑制金属间化合物的过量生长、改善产品质量和可靠性都是很重要的，而且还能降低生产成本。对此，只要通过适当的设计与过程控制，再流焊接点的品质与可靠性，完全可以与传统替代工艺所形成的焊接点相媲美。



8.4.2 通孔再流焊接工艺的特征

该工艺涉及在通孔元器件引脚安装孔位上印刷焊膏，并在进入再流焊接炉之前安装通孔元器件，然后和其他 SMC/SMD 一起进行再流焊接。适合该工艺的通孔元器件类型包括 PGA（针栅阵列）、DIP 和各种连接器等。

8.4.3 通孔再流焊接的质量要求

按照 IPC/J-STD-001 的规定，针对第三类电子产品来说，沿孔方向填充量应大于或等于 75%，并润湿良好。计算显示，若将孔的尺寸由适合波峰焊接和手工焊接情况适量减少，那么即使使用厚度为 0.178mm 的模板也可提供足够多的焊料满足这些要求。

8.4.4 设计上的考虑

在为通孔再流焊接设计一个 PCBA 时，必须考虑下列因素。

① 必须用引脚形状、通孔直径和板的厚度来计算要用焊料填充的体积。然后再计算出达到通孔填充百分比所需要的焊膏量，计算时焊膏内金属的体积含量可按 50% 估计。

② 可获得的焊膏量受模板厚度、通孔引脚间距和焊膏沉积物之间所要求的最小间隔的限制，焊膏最小间隔将防止组装过程中焊膏塌落而相互接触。

③ 通孔尺寸的上限由可得到焊膏的量来决定。通常通孔直径比引脚尺寸（直径或对角线）大 0.254mm 左右为宜。

要规定引脚长度，以获得最小允许突出 PCB 板面的高度。

8.4.5 对再流焊接炉热量的要求

通孔再流焊接要求回流系统比平常能提供更多的加热能力。工艺中增加的通孔元器件数量对回流系统的热传送效率的要求更高。许多混合组装复杂的表面几何形状，要求一个很高的热传送系数，以满足充分回流过程所要求的温度差。

通过对表面贴装组装过程的观察发现，为通孔元器件印刷的焊膏有时会在元器件贴装所要求的时间内塌落，使得焊膏沉积到一起，或相互“汇合”，如图 8.8 所示。这些 PCB 的模

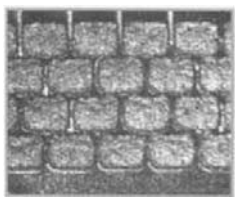


图 8.8 通孔元器件印刷的焊膏

板具有 2.286mm 或 2.34mm 方形开孔，用来提供最大的焊膏量。这些开孔之间只允许有 0.20~0.25mm 的间隔，因为元器件引脚之间的间距为 2.54mm。

再流焊接后对 PCBA 检查证实，贴放在焊膏“汇合”中的连接器几乎总会出现“抢夺”焊料的现象，造成引脚之间焊料分布不均匀。如果保持了焊盘在焊膏印刷之间的间隔，引脚的焊料分配就会一致。



8.5 无铅再流焊接技术

8.5.1 无铅再流焊接的工艺要求

随着世界范围电子组装工艺中无铅化的迅速实施,从大的球栅阵列(BGA)到更密间距的零件,均要求新的再流焊接炉来提供更精确控制的热传导。

无铅焊膏具有比传统的 Sn/Pb 焊膏更高的熔化温度,以及较差的润湿性。例如,Sn63/Pb37 焊膏的可扩散能力为 93%,而无铅焊膏的可扩散能力只有 73%~77%。

Sn63/Pb37 焊膏的回流条件是熔点温度为 183℃,在小元器件上引脚的峰值温度可达到 240℃,而大元器件上能得到 210℃。大、小元器件之间存在 30℃ 的温度差别不会影响其寿命,这是因为焊接点是在高于焊膏熔化温度的 27~57℃ 时形成的。由于金属润湿性通常在较高温度时表现得更好,所以这些条件对生产是有利的。

但是,对于无铅焊膏,如 Sn/Ag 成分的熔点变成 216~221℃,这造成加热大元器件引脚要高于 230℃ 才能保证润湿性。如果小元器件上引脚的峰值温度仍保持在 240℃,那么大、小元器件之间的温度差别将小于 10℃。这就意味着焊膏熔点与回流峰值焊接温度之间的差别的减小。为此,回流系统必须达到下述要求。

- 再流焊接炉必须减少大、小元器件之间的峰值温度差别。
- 再流焊接系统必须保持整个 PCB 通过回流炉过程中温度曲线的稳定,以获得高的生产效率。

8.5.2 峰值温度的维护

必须考虑加热零件的热容量和传导时间,这对 BGA、CSP 等更为重要。在回流过程中,BGA、CSP 封装体和 PCB 首先加热,然后热传导到焊盘和 BGA、CSP 的焊料球,以形成焊点。例如,如果 230℃ 的热空气作用在封装表面,焊盘与 BGA、CSP 焊料球将逐渐加热而不是立即加热。因此,为了防止温度冲击,在焊盘与 BGA、CSP 焊料球被加热形成焊接点时,封装的元器件一定要避免在回流区过热。

8.5.3 回流炉加热系统

两种最常见的回流加热方法是:热风对流与红外辐射(IR)。热风对流是以空气作为传导热量的媒介,对加热那些从 PCB 板面上“凸出”的元器件,如引脚与小零件,是比较理想的。但是在该过程中,由于在对流空气与 PCB 之间形成的“附面层”的影响,使得热传导到后者时效率不高,如图 8.9 所示。

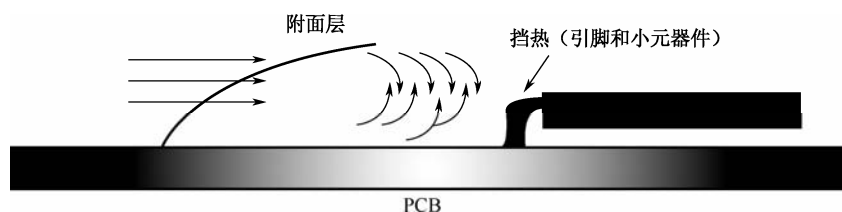


图 8.9 热风对流加热方法

用 IR 方法，红外加热器通过电磁波传导能量，如果控制适当，它将均匀地加热元器件；如果没有控制，可能会发生 PCB 和元器件过热。IR 加热器，如灯管和加热棒，只局限于表面区域，大多数热传导集中在 PCB 的直接下方，妨碍均匀覆盖。由此，IR 加热器必须大于所要加热的 PCBA，以保证均衡的热传导和有足够多的热量防止 PCBA 冷却。

在 3 种热传导机制中：传导、辐射和对流，只有后两者可通过回流炉控制。

1. 辐射加热

通过辐射的热传导是高效和大功率的，如下述方程式所示。

$$T(K)e = bT^4$$

这里热能或辐射的发射功率 e 是与其绝对温度的四次方成比例的， b 是玻尔兹曼常数。

2. 强制对流（热风）加热

因为红外加热的热传导功率对热源的温度非常敏感，所以要求准确控制。而对流加热虽然没有辐射那么大的功率，但它可以良好、均匀地加热。

3. IR + 强制对流加热

现代的最先进的回流炉技术的第一个特点是结合了对流与红外辐射加热两者的优点。元器件之间的峰值温度差别可以保持在 8°C 左右，同时在连续大量生产期间 PCB 之间的温度差可稳定在大约 1°C 。

IR + 强制对流的基本概念：使用红外作为主要的加热源达到最佳的热传导，并且抓住对流的均衡加热特性以减少元器件与 PCB 之间的温度差。对流在加热大热容量的元器件时有帮助，如 BGA，同时对较小热容量元器件的冷却有帮助。

在如图 8.10 所示中，① 是具有大热容量的元器件的加热曲线，② 是小热容量的元器件的加热曲线。如果只使用一个热源，不管是 IR 或者对流，都将发生如图 8.10 所示的加热不一致。当只有 IR 用作主热源时，将得到实线所示的曲线结果。可是，虚线所描述的加热曲线显示了 IR / 强制对流系统相结合的优点。这里增加强制对流的作用是：加热低于设定温度的元器件，而冷却已经升高到热空气温度之上的元器件。

先进再流焊接炉的第二个特点是具有有效地传导对流热量供给 PCB 的能力。传统喷嘴对流加热与强制对流加热的热传导特性，如图 8.11 所示。后面的技术可均匀地将热传导给 PCB 和元器件，其效率是喷嘴对流的 3 倍，如表 8.2 所示。

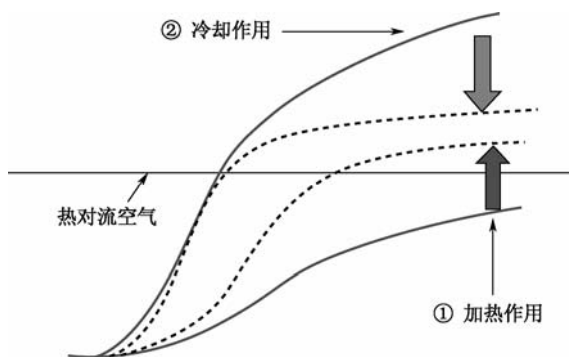


图 8.10 IR / 强制对流系统相结合

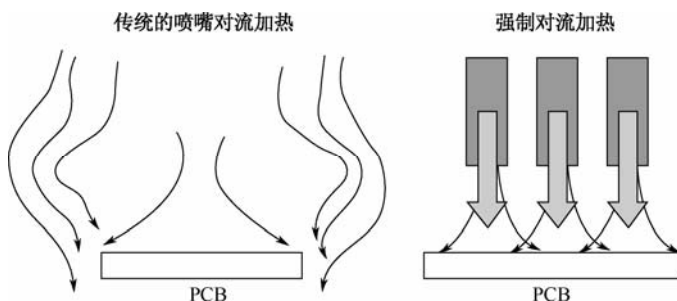


图 8.11 传统喷嘴对流加热与强制对流加热的热传导特性

表 8.2 传统喷嘴对流加热与强制对流加热的热传导效率对比

| 热传导方式 | 喷嘴对流加热 | 强制对流加热 |
|---------------|--------|--------|
| 加热效率 (kcal/h) | 764 | 2280 |

4. 气相再流焊 (VPS)

气相再流焊 (VPS) 又称凝热焊接, 其工作原理是由气相液沸腾产生气相层 (气相层温度由气相液沸点决定), 被焊产品送入气相层, 通过冷凝放热进行热交换, 从而获得焊接所需要的热量, 如图 8.12 所示。

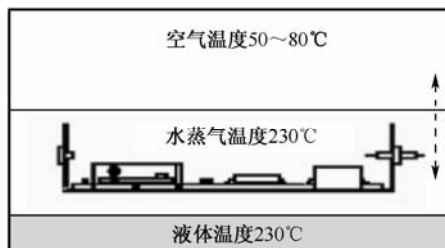


图 8.12 气相再流焊原理

与红外对流类再流焊相比, 气相再流焊具有以下特点。

① 采用氟系惰性有机溶剂作为传热介质时, 饱和的蒸汽置换了空气和水分, 形成了惰性气体环境, 相变传热形成的膜式凝结覆盖了整个焊区表面, 因此有利于防止焊接时的高温



氧化。这一点对采用了低固免清洗焊剂的焊料更为重要。也正是这一特点,使得 VPS 工艺在一些重要场合,如航天、军工产品的装联中还有应用。

② 由相变传热的加热机理可知,气相再流焊的加热过程对焊接组件的物理结构和几何特征不敏感,这有利于提高复杂组件的升温均匀性。同时,组件表面不会发生过热现象。因此,VPS 对含有不同耐热特性、形态复杂或大型元器件(如 PLCC、BGA、柔性电路、接插件等组件)的焊接过程比较有利。

③ 蒸汽温度由介质的沸点决定,因此焊接的峰值温度始终保持恒定而无须复杂的温控措施。采用不同的传热介质就可以调整焊接温度,满足不同熔点焊料的焊接需要。这也表明,VPS 加热不能根据被焊组件的具体特性进行调控。此外,相变传热的热转换效率高,组件的升温速度快。

VPS 是 20 世纪 80 年代初期的优选工艺,后因 VPS 自身存在引脚元器件的芯吸现象,因引脚和焊盘的加热速度不同,焊料会沿着引脚爬升,严重的甚至导致焊点开路,以及芯片元器件的立碑问题多发的原因,而一度消失。近年伴随无铅化的应用,VPS 经过不断改良预热方式,尤其是真空气相再流焊,在支持 SnAgCu 等无铅焊膏合金再度表现出低空洞率、低焊接峰值温度、高传热效率等特点。

8.5.4 PCBA 加热偏差

国外业界针对 QFP140P 与 PCB 之间、45mm 的 BGA 与 PCB 之间,当分别只有 IR 盘式加热器的加热、对流加热及使用 IR+强制对流复合加热系统时,在 3 种条件下的温度差如下。

对流回流产生在 QFP140P 与 PCB 之间的温度差为 22°C (在预热期间 PCB 插入后的 70s)。相反,通过复合式系统加热结果只有 7°C 的温度差,而 45mm 的 BGA 在复合式系统中将这个温度差减少到 3°C 。

另外,对流回流使用的是传统的温度曲线设定,在 PCB 与 45mm BGA 之间的峰值温度差当用复合式系统回流时有 12°C ,若使用梯形曲线时这个温度差可减少到 8°C 。在连续大生产中,回流炉中的温度不稳定在使用无铅焊膏时会有重大影响。

8.5.5 最佳回流温度曲线

对于无铅焊膏,元器件之间的温度差必须尽可能小。这也可通过调节回流曲线达到。用传统的温度曲线,虽然当 PCB 板达到峰值温度时,元器件之间的温度差是不可避免的,但可以通过下述几个方法来减少。

1. 延长预热时间

延长预热时间可大大减少在形成回流峰值温度之前元器件之间的温度差,大多数对流回流炉使用这个方法。可是,因为助焊剂可能通过这个方法蒸发太快,导致引脚与焊盘氧化而造成润湿性能变差。



2. 提高预热温度

传统的预热温度一般在 140~160 °C，而对无铅焊膏可能要提高到 170~190°C。提高预热温度，减少所要求的峰值温度，反过来减少了元器件与焊盘之间的温度差。可是，如果助焊剂不能兼容较高的温度水平，又将因助焊剂蒸发过快而导致焊盘、引脚氧化，造成润湿性变差。

3. 采用梯形温度曲线（延长的峰值温度）

延长小热容量元器件的峰值温度时间，将允许小热容量元器件与大热容量元器件达到所要求的回流温度，避免较小元器件过热。

使用梯形温度曲线，如图 8.13 所示，一个现代复合式回流系统可减少 45mm BGA 与小型引脚封装（SOP）封装体之间的温度差到 8°C。

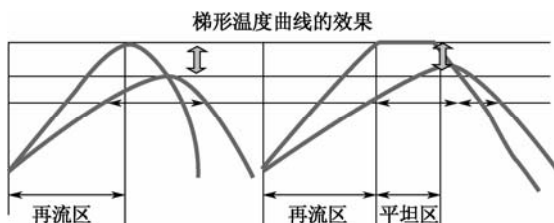


图 8.13 梯形温度曲线

8.5.6 氮气回流炉

由于无铅焊膏熔点高、润湿较差，回流峰值温度之间的温度差不是很大。另外，当采用双面回流时，高熔点的无铅焊料在 A 面再流焊接期间，在 200°C 以上的高温下，氧化膜的厚度将迅速增加，B 面焊盘氧化将更严重，这可能导致在回流 B 面时润湿性不良。因此，要求使用氮气保护，以维持无铅工艺的高生产效率和产品质量。

在以 IR 盘式加热器为主要热源的复合式系统中（对流是均匀加热媒介），氮气的消耗可减少到少于现在全对流回流炉所要求数量的一半。一个可选的内部氮气发生器可免除大的氮气桶。

8.5.7 自动过程监测

窄小的无铅工艺窗口使得必须做连续的工艺过程监测，因为很小的工艺偏离都可能造成不合格的焊接质量。监测再流焊接工艺的最有效方法是使用自动、连续、实时的温度管理系统。该实时温度管理系统允许装配者通过连续的监测在回流炉中的过程温度，获得和分析其焊接过程的实时数据。这种系统通常由 30 个嵌入两个细长不锈钢探测器的热电偶组成，探测器永久地安装在传送带的上方或下方，如图 8.14 所示。热电偶连续地监测过程温度，每 5s 记录读数。这些温度在再流焊接炉控制器的 PC 屏幕上作为过程温度曲线显示出来。

实时温度管理系统通过产生一个由穿过式测温仪测定的温度曲线，与由实时温度管理热电偶探测器所测量的过程温度之间的数学相关性，来提供对每个 PCBA 产品的温度曲线。来自实时温度管理系统的也可通过互联网发送到远程位置，以最大限度地利用这种工程资



源的价值。

实时连续温度记录的其他优点包括消除使用标准穿过式温度记录器的生产停顿，以及所需要的预防性维护计划。严密控制的温度过程可大大减少焊接点缺陷。

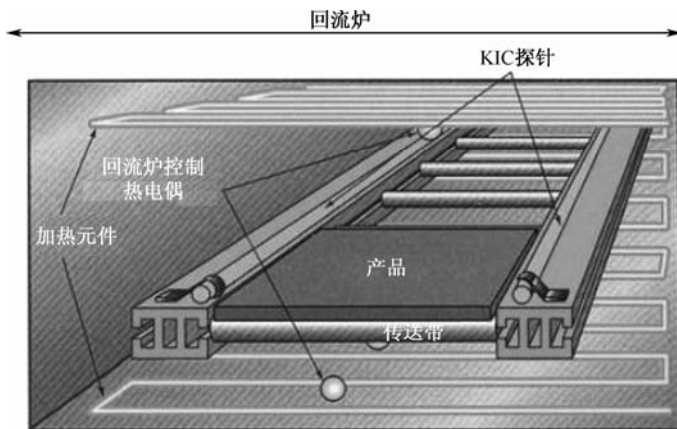


图 8.14 自动过程监控系统

8.5.8 回流温度曲线优化

现在先进的软件可简化转换到无铅组装的任务。在较新的软件中，有一个自动温度曲线预测工具，它允许使用者在数分钟内决定最佳的温度曲线。该工具将曲线放在由希望设定规定界限的使用者设定的窗口中央。例如前面提到的梯形曲线，即如果 PCBA 不能忍受高于 240°C 的温度，但又不能低于 230°C ，那么该自动预测工具将找出一条最佳的温度曲线，介于高限位与低限位之间的中央。

8.5.9 结论

无铅焊膏的使用将大大减少回流工艺窗口，特别是要求的峰值温度。元器件之间的温度差必须减少，在连续生产期间回流炉的变化必须达到最小。为了提高产品质量和生产效率，通过回流炉的温度传导必须精确控制。

一个具有单独与精密控制的各个加热单元的复合式 IR/强制对流系统，提供要求用来可靠地处理无铅装配的方法。当与自动温度曲线预测工具和连续实时温度管理系统相结合时，该回流技术为未来的无铅电子制造商提供了零缺陷的生产潜力。

8.6 再流焊接工艺中常见的缺陷

1. 焊点空隙

焊点空隙是再流焊接工序中的缺陷之一。在 QFP 焊接后只要剥掉 QFP 的引脚就可检测到，然而在 BGA、CSP 组装时，BGA 因其球形端子尺寸偏大产生空隙的可能性会少些，而



FC-CSP 的组装焊接是近似于裸芯片的组装,因此焊后生成空隙的比例就大。焊点空隙的产生与焊膏组成中的溶剂配比有一定关系。在助焊剂起始活化温度以上的预热时间内,除促使助焊剂干燥减少热阻外,其主要目的就是抑制气孔或针孔的生成。考虑到组装基板装载元器件的热容量的差别,设置不同的焊接升温曲线就显得十分重要。

焊点空隙可采用 X 射线或微光学视觉系统来进行检测,对于功率元器件可利用红外线表面温度计测得其温度差来判断空隙的存在。

2. 焊料球

许多细小的焊料球镶陷在回流后助焊剂残留的周边上。在 RTS 曲线上,这通常是升温速率太慢的结果。由于助焊剂载体在回流之前已烧损完,焊膏中的焊料颗粒发生氧化而导致焊料球。对此,一般可通过略微提高曲线的升温速率来解决,如图 8.15 所示。

3. 焊料珠

它经常与焊料球混淆,焊料珠是指一颗或一些大的焊料球,它通常落在片状电容和电阻周围,如图 8.16 所示。

虽然这常常是丝印时焊膏过量堆积的结果,但有时可以通过调节温度曲线来解决。

和焊料球一样,在 RTS 曲线上产生的焊料珠,通常是升温速率太慢的结果。在这种情况下,慢的升温速率引起毛细管作用,将未回流的焊膏从焊料堆积处吸到元器件下面。回流期间,这些焊膏形成焊料珠,由于焊膏表面张力将元器件拉向 PCB 板而被挤出到元器件边沿。和焊料球一样,焊料珠的解决办法也是提高升温速率,直到问题解决为止。

4. 润湿性差

润湿性差示意图如图 8.17 所示。它的发生经常是时间与温度比率不当的结果。焊膏内的活性剂由有机酸组成,随时间和温度而退化。如果曲线太长,焊接点的润湿可能受损害。因为使用 RTS 曲线,焊膏活性剂通常维持时间较长,因此润湿性差的现象比 RSS 曲线较不易发生。如果 RTS 还出现润湿性差的现象,应采取步骤调节曲线的前面 2/3 使其处于 150℃ 之下,以延长焊膏活性剂的寿命,改善润湿性。

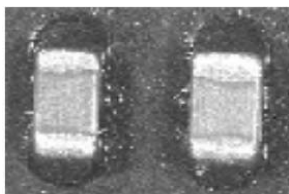


图 8.15 焊料球示意图



图 8.16 焊料珠示意图



图 8.17 润湿性差示意图

5. 焊料不足

焊料不足通常是不均匀加热或过快加热的结果,使得元器件引脚太热,由芯吸效应将焊料吸上引脚。回流后引脚上焊料层变厚,而焊盘上将出现焊料不足。降低加热速率或保证 PCBA 均匀受热有助于防止该缺陷。



6. 墓碑

墓碑通常是不相等的润湿力造成的结果,使得回流后元器件在一端上站起来,如图 8.18 所示。一般来说,加热越慢,PCB 板越平稳,越少发生墓碑现象。降低 PCBA 通过 183℃ 时的升温速率,将有助于校正这个缺陷。

7. 空洞

空洞是焊点进行 X 光或截面检查通常所发现的缺陷。空洞是焊点内的微小“气泡”,如图 8.19 所示。



图 8.18 墓碑不良

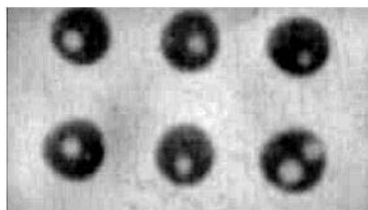


图 8.19 空洞不良

空洞是在再流焊接过程中,气体或助焊剂被夹在焊点内部的结果。空洞一般由下述 3 个原因引起。

- ① 峰值温度不够。
- ② 回流时间不够。
- ③ 升温阶段温度速率过高。

由于 RTS 曲线升温速率是严密控制的,因此,空洞通常是由第①个或第②个原因导致的结果,造成没挥发的助焊剂被夹在焊点内。在这种情况下,为了避免空洞的产生,应在空洞发生的点测量温度曲线,并适当调整,直到问题解决。



图 8.20 无光泽和颗粒状焊点

8. 无光泽、颗粒状焊点

一个相对普遍的再流焊缺陷是无光泽、颗粒状焊点,如图 8.20 所示。

这个缺陷可能只是外观上的,但也可能是脆弱焊点的征兆。在 RTS 曲线内改正这个缺陷,应将回流前两个区的温度减少 5℃ 左右,而将峰值温度提高 5℃ 左右。如果还不行,应继续照此调节温度直到达到希望的结果。这些调节的目的是延长焊膏活性剂寿命、减少焊膏的氧化暴露、改善润湿能力。

9. 烧焦的残留物

烧焦的残留物,虽然不一定是功能缺陷,但可能会在使用 RTS 温度曲线时遇见。为了纠正该缺陷,回流区的时间和温度要减少,温度通常减少 5℃ 左右。



思考题

- ① 什么是再流焊接？再流焊接分为哪 5 个过程？每个过程的作用是什么？
- ② 再流焊接温度曲线的影响因素有哪些？如何再流焊接曲线？
- ③ 温度曲线的作用是什么？温度曲线的组成有哪些？温度曲线的参数该如何设定？
- ④ 温度曲线需要如何调整？
- ⑤ 保温型温度曲线和帐篷型温度曲线的特别和作用是什么？
- ⑥ 通孔再流焊接目的和作用是什么？
- ⑦ 通孔再流焊接设计上应注意的事项有哪些？
- ⑧ 通孔再流焊接对再流有何要求？
- ⑨ 无铅再流焊接有哪些要求？
- ⑩ 再流焊接工艺中常见的焊接缺陷有哪些？该如何解决？

第9章 波峰焊接工艺基础知识



本章要点

- 📁 波峰焊接技术简介
- 📁 一般波峰焊机的基本组成及其功能
- 📁 波峰焊接工艺的关键参数
- 📁 波峰焊接常见缺陷及其抑制



9.1 波峰焊接技术简介

波峰焊接（Wave Soldering）的定义：将熔融的液态钎料借助泵的作用，在钎料液面形成一个特定形状的钎料波峰，装载了元器件的 PCB 以某一特定角度、一定的浸入深度穿过钎料波峰而实现焊点的连接过程。

波峰焊接技术在目前工业生产中使用较多，它主要适用于大面积、大批量印制电路板的焊接。该项技术具有快速、高效、焊点质量可靠等优点，起源于 20 世纪五六十年代，是美欧工业技术发展体现。它使 PCB 由人工烙铁逐点焊接进入到机器自动化大面积高效焊接的新阶段，在降低生产成本、改善工人的劳动强度、提高生产效率等方面做出的贡献是非常巨大的。

波峰焊设备如图 9.1 所示。



图 9.1 波峰焊设备

9.2 一般波峰焊机的基本组成及其功能

一台完整的波峰焊设备主要由传送装置、助焊剂喷涂装置、预热装置、钎料波峰发生器、冷却系统以及电气控制等 6 部分组成。

ERSA 品牌波峰焊接设备如图 9.2 所示。



图 9.2 ERSA 品牌波峰焊接设备

9.2.1 传送装置

传送装置的作用在于使 PCB 能以某一个角度和速度经过波峰，获得良好的焊接。目前常见的单板传送装置主要有两种类型，即指爪式和框架式。如 ERSA 品牌下的 EWS500F 系列，Speedline 品牌下的 Electra 机型是指爪式，而 ERSA 品牌下的 Powerflow 是框架式。指爪式和框架式传递装置如图 9.3 所示。

框架式是用一个特制的框架作为固定和夹持 PCB 的载体，在拖动机构的拖动下依次通过波峰焊接设备配置的各个工艺区来完成 PCB 的波峰焊接过程。框架通常由铝合金制作，要求坚固且不易变形，夹持宽度可根据 PCB 尺寸调整。

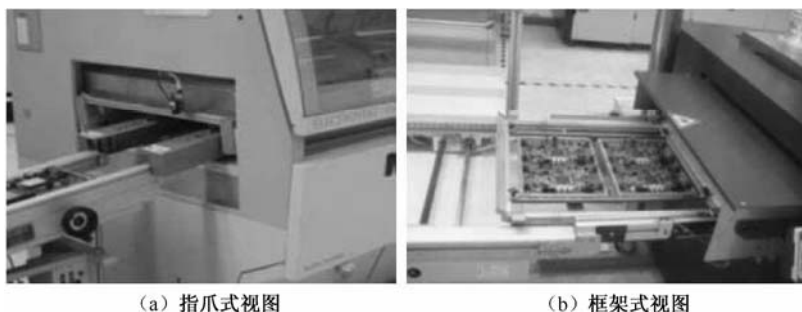


图 9.3 指爪式和框架式传送装置

指爪式是将所需形状的夹持爪直接安装到驱动的链条上, 构成带动 PCB 通过各个工艺区的载体。一般在导轨的前端或者后端会有指爪清洗器, 可以清除指爪上黏附的焊料渣残余物。一般采用手轮来调节夹持宽度。传送装置优缺点对比如表 9.1 所示。

表 9.1 传送装置优缺点对比

| | 框架式 | 指爪式 |
|----|--|--|
| 优点 | 1. 宽度调整简单快捷 2. 充分利用波峰宽度以提高生产效率 3. 能进行复合生产, 同时生产不同类型的产品 | 1. PCB 进出波峰设备自动化 2. 能上下同时夹持 PCB, 减少 PCB 在过炉时的热变形 3. 指爪较不容易变形 |
| 缺点 | 1. PCB 装卸需要手工操作 2. 框架经常装卸 PCB, 容易变形 | 1. 宽度调整较慢, 影响转产效率 2. 不能复合生产不同的产品 |

不论是哪种结构, 链条宽度的调整都要以 PCB 宽度为基准, 不能过松, 防止掉板而致使单板损坏; 也不能过紧, 过紧将加剧单板的变形, 致使不同部位的焊点吃锡深度不一样, 影响焊接质量。一般在调整时, 让单板处于传输装置的不同位置, 用手拉动单板, 当确认无误时即可准备生产。同时对已经变形的指爪或框架要及时校正或更换, 以保证焊接效果。

9.2.2 助焊剂喷涂装置

助焊剂喷涂装置是给 PCB 的焊盘上涂覆助焊剂的设备。助焊剂喷量的多少按照操作工艺的需要, 在软件中数字化设定。助焊剂喷涂装置如图 9.4 所示。

1. 助焊剂喷涂的作用

波峰焊接过程中, 熔融的钎料需要填充在 PCB 焊盘和元器件引线之间, 并且要和两者良好结合。为了形成良好的结合层, 需要使用助焊剂对 PCB 焊盘和元器件引线进行清洗。在此过程中, 助焊剂所起的作用归纳起来主要如下。

① 获得无锈蚀的金属表面, 并保持该被焊表面的洁净状态。

② 减小锡波的表面张力, 促进钎料漫流。



图 9.4 助焊剂喷涂装置



2. 助焊剂喷涂方式

助焊剂喷涂方式有泡沫波峰涂覆法和喷雾涂覆法两种。

(1) 泡沫波峰涂覆法

泡沫波峰涂覆法是利用装在喷嘴内的多孔发泡管，发泡管浸入助焊剂液面一定距离，向发泡管内送入一定压力的纯净空气后，在喷嘴上方形成稳定的助焊剂泡沫流，PCB 经过泡沫流顶，从而涂覆上一层助焊剂。其优点是设备简单、价格低、使用维修方便等。其不足之处是助焊剂易挥发、密度不易控制、涂覆量也不易控制。随着现代电子装联朝着高密度、高集成化发展，该方式已经逐渐被淘汰。

(2) 喷雾涂覆法

喷雾涂覆法是目前最常用的助焊剂涂覆方式，其中喷雾涂覆法又分为直接喷雾（压缩空气喷雾）、旋筛喷雾以及超声波喷雾 3 种方式。

① 直接喷雾。直接喷雾国外也称喷涂法，这种方法仅用于涂覆低固体含量的液态助焊剂。它是从油漆工业中移植过来的一项传统技术，是利用经过过滤后的洁净压缩空气高速气流所产生的负压效应，将液压助焊剂从喷雾头的针状小孔中吸出，在高速气流中夹杂的助焊剂液滴，再受空气阻力的作用，被击碎并分裂为散射状的极小的雾状液珠而形成定向的高速雾状气流，将助焊剂涂抹在 PCB 的焊接面上。由于助焊剂中的溶剂通常由极易挥发的材料构成，在高速气流的作用下，助焊剂喷到工件上后溶液就自行挥发或一经喷出喷嘴就以液粒的形式很快挥发了。因此，落到工件表面上的助焊剂是很黏并接近于干态的助焊剂滴。

② 旋筛喷雾。旋筛喷雾国外也称旋转筛喷雾或旋网喷雾。这种方法主要采用由不锈钢或其他耐助焊剂腐蚀材料制成旋转筛（网）的一部分浸入助焊剂容器中，在浸入部分的网眼中充满了助焊剂。旋转筛绕其轴旋转，而且旋转速度可变。喷气嘴位于旋转筛的轴上，并指向位于助焊剂容器上方的 PCB。气流可以是连续气流，也可以是当 PCB 位于喷嘴上方时由位置传感器控制启、停的断续气流。筛的旋转速度和气压决定沉积于 PCB 上的助焊剂涂覆量，变更旋筛网孔的目数，可控制雾粒的大小。

③ 超声波喷雾。超声喷雾方式是利用超声能的空化作用，将液态助焊剂变成雾化状而涂覆到 PCB 的焊接面上的。

3 种涂覆方式对比如表 9.2 所示。

表 9.2 3 种涂覆方式对比

| | 直接喷雾 | 旋筛喷雾 | 超声喷雾 |
|----------|--------|-------|---------|
| 喷涂量 | 较多 | 较多 | 少 |
| 涂覆的均匀性 | 一般 | 较好 | 好 |
| 波峰焊后残留物 | 少 | 少 | 极少 |
| 所需气压的大小 | 大 | 大 | 小 |
| 雾粒粗细 | 30~100 | 10~50 | <50 |
| PCB 夹送速度 | 0.6~4 | 0~4 | 0.6~1.5 |
| 助焊剂消耗量 | 多 | 一般 | 最少 |
| 维修 | 复杂 | 易 | 较复杂 |



3. 助焊剂涂覆的基本要求

助焊剂涂覆的基本要求如下，通常是从所涂覆助焊剂层的厚度和均匀性的角度来考虑的。

- ① 涂覆层应均匀一致，对被焊接面覆盖性完整。
- ② 涂覆厚度适宜，无多余助焊剂滴落。
- ③ 环保性能好，易于清理和保养。

助焊剂雾化后通过压缩空气的带动喷涂到 PCB 上，所以要检查压缩空气的供应情况。另外，由于助焊剂性能的差异，加之涂覆系统一般需要连续工作，所以助焊剂喷头需要及时必要的保养，才能保证使用效果。

9.2.3 预热装置

1. 预热的作用

预热的目的是促使助焊剂中有机溶剂的挥发，激活助焊剂中的活性物质。在实际的生产中，一般预热区是分段的，每段称一个温区，不同的温区可以设定不同的温度，保证 PCB 在预热时按照一定的曲线上升，避免剧烈地热冲击。根据设备配置的不同，各个设备的预热结构和预热区数量也有差异。有些只有底部预热，比如 Ersa 品牌的 EWS500F 波峰焊，有些既有底部预热，也有顶部预热，如 Speedline 品牌的 ELECTRA 波峰，Ersa 品牌的 Powerflow 波峰等。

2. 预热方式的分类

在波峰焊接设备系统中所用的预热器，根据热源传递方式的不同，大致可分为辐射式和热风式两种形式，它们各有优点，如表 9.3 所示。

表 9.3 辐射式和热风式对比

| | 热风式 | 辐射式 |
|-------|-----|-----|
| 温度均匀性 | 较好 | 一般 |
| 控温精度 | 一般 | 高 |
| 热效率 | 一般 | 高 |
| 维护方便性 | 一般 | 困难 |
| 加工成本 | 高 | 较高 |
| 安全性 | 一般 | 好 |

辐射式和热风式如图 9.5 所示。

目前的波峰焊接设备中大多数用的是辐射和热风组合的预热方式，按照发热体发出光线的波长又分为红外加热和短波加热。加热管的基本结构是中间有发热体，外层为绝缘护套，两端有绝缘端子固定发热丝；如果助焊剂滴落到平板加热器上，则必须定期清除，以防止火灾并保持加热效果。热风式主要是利用已经加热的空气通过 PCB 的表面来完成预热的。

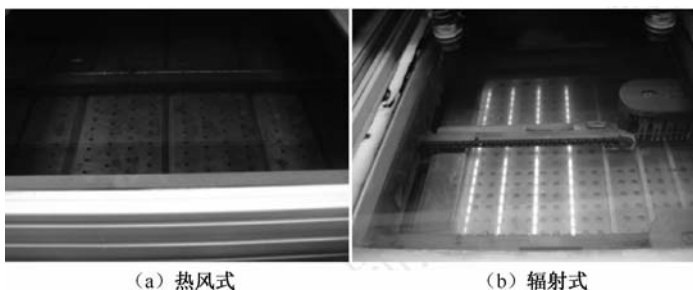


图 9.5 辐射式和热风式

预热器在工艺上的应用, 一般需要考虑预热区的长度, 还有各种预热器的合理搭配。常见的配置方式为热风+红外+短波的组合方式, 充分利用各种预热方式的优点。

9.2.4 钎料波峰发生器

1. 钎料波峰发生器的作用和分类

钎料波峰发生器的作用是完成波峰焊接工艺过程, 此部分是决定波峰焊接质量的核心, 也是整个系统最具特征的核心部件。

喷焊料的动力全部来源于泵的作用, 因此钎料波峰发生器主要分为机械泵式和电磁泵式两种。

2. 钎料波峰发生器的工作原理

在钎料波峰工作时, 其电动机通过联轴器带动叶轮, 叶轮的旋转带动焊料的流动, 焊料增压后从焊料槽向上打入一个装有分流作用挡板的喷射室, 然后从喷嘴中喷出。焊料到达顶点后, 又沿喷射室外边的斜面流回焊料槽中。钎料波峰发生器如图 9.6 所示。

由于喷嘴的形状不同, 产生了不同的波形。一般设备中均配置有两个波峰喷嘴: 一个称紊流波, 主要用于芯片元器件的焊接, 另一个称整流波或者平波, 主要用于芯片元器件焊点的修正以及通孔元器件的焊接。所以一般 PCB 的底面有芯片元器件时需要用双波峰, 若只是通孔元器件, 则只用平波即可。紊流波和整流波如图 9.7 所示。

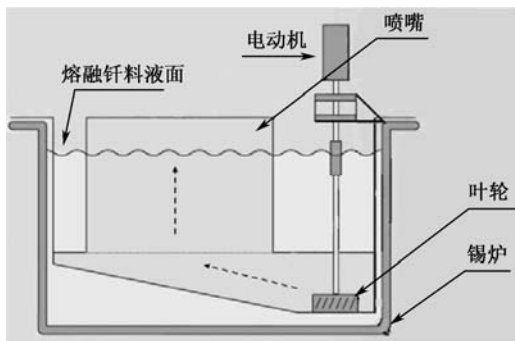


图 9.6 钎料波峰发生器

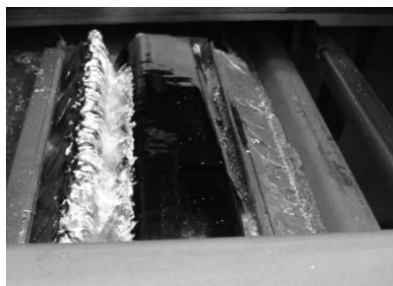


图 9.7 紊流波和整流波



3. 钎料波峰发生器的技术要求

钎料波峰发生器的技术要求一般有以下几点。

- ① 有优良的波峰动力学特性，波峰平稳，高度可调。
- ② 具备一定的抑制高温焊料氧化的能力（如充氮气）。
- ③ 温度均匀，不可有过热点，完善的温度自动控制措施。
- ④ 杂质金属对钎料槽的污染要小。

波峰发生器的宽度也就决定了可焊接 PCB 的宽度，现有的 B 线 ELECTRA 波峰的宽度为 510mm，其他线体的宽度要小一些。而且该波峰的另一大特点是锡炉高度可以调整，波峰的最大高度可达 10mm 以上，工艺能力强。而 ERSA 波峰的锡炉高度则不可调整，波峰的最大高度几种型号也有差异。早先的 EWS500F 波峰高度最低，目前只有 5.5mm 左右；而 Powerflow 的高度则可达 7mm 以上。

9.2.5 冷却系统

冷却系统的目的是迅速驱散经过钎料波峰区后积累在 PCB 板上的余热。防止焊接后的余热使 PCB 板的温度继续升高。常用的是采用微型风扇冷却的方法。一般的波峰焊设备中都是采用此种方式。微型风扇冷却系统如图 9.8 所示。

9.2.6 电气控制

电气控制是对系统各部件的工作进行协调和管理，是波峰焊机的中枢神经。老式机型大多采用机电控制元器件和仪表构成的顺序控制系统，而目前较为先进的新机型大多采用了计算机智能化控制系统，人机界面友好，各种工艺参数都可在计算机的软件窗口中方便设置和更改。其中主要的控制参数包括波峰链速、助焊剂喷量、预热温度、钎料槽温度、波峰电动机转速（波峰高度）。计算机智能化控制系统如图 9.9 所示。

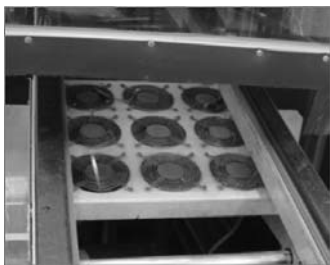


图 9.8 微型风扇冷却系统



图 9.9 计算机智能化控制系统

9.3 波峰焊接工艺的关键参数

波峰焊接通常由 3 个基本子过程组成，即喷涂助焊剂、预热、焊接。优化波峰焊接工艺过程意味着优化这 3 个子过程，在这些子过程中最关键的参数包括驻留时间、浸入深度、助



焊剂及涂层、预热温度、钎料槽温度等。

9.3.1 驻留时间

驻留时间的优化与可重现性对焊接过程是极为重要的。这个因素主要与以下参数有关。

1. 波峰标称高度

① 波峰标称高度：波峰机械泵满负荷运载时能达到的锡波最大高度 H_{\max} 。

② 波峰标称高度工艺要求：波峰满负荷运转时其锡波高度值大于或等于掩模波峰焊接单板要求的正常工作高度 H_0 。

2. 波峰平整度及工艺要求

(1) 波峰平整度

当波峰高度处于正常工作高度 H_0 （以掩膜波峰焊接时高度为准）时，沿波峰炉胆长度方向（横向箭头方向）波峰高度的差异性（纵向箭头方向）；如图 9.10 所示的波峰设备平整度较差。



图 9.10 波峰平整度示意图

(2) 波峰平整度工艺要求

当波峰高度处于正常工作高度 H_0 时，沿整个波峰炉胆长度范围上波峰高度的最高点与最低点的高度差 $h \leq 10\%H_0$ 。进行 PCB 焊接之前，如果测量显示不平行时应及时对波峰焊机进行调整。波峰平整度工艺性要求如图 9.11 所示。

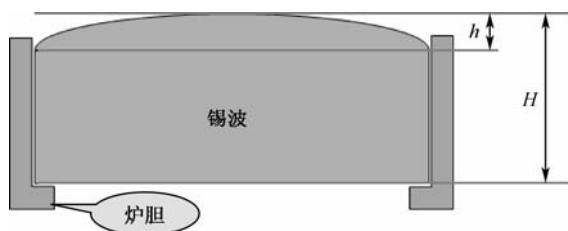


图 9.11 波峰平整度工艺性要求



3. 波峰阔度

当波峰高度处于正常工作高度 H_0 （以掩膜波峰焊接时高度为准）时，沿传送方向 PCB 下表面与波峰接触的长度称波峰阔度。波峰阔度测量如图 9.12 所示。



图 9.12 波峰阔度测量

4. 传输速度

传输速度是决定驻留时间的关键因素，其关系可以用下式表示。

$$\text{驻留时间 } t = \text{波峰阔度} / \text{传输速度}$$

由上式可以算出一般的波峰焊接过程中对波峰阔度的工艺要求：当传送系统的速度为 $V=1.2\text{m/min}$ 时，要求波峰的阔度值 $W \geq 40\text{mm}$ （保证了焊接时间在 2s 以上）。

9.3.2 浸入深度

改变浸入深度会改变接触长度和驻留时间，这使得浸入深度的准确测量成为关键。泵速产生波峰高度，它随着钎料槽中钎料的消耗而变低。而 PCB 板的实际浸入深度取决于钎料槽的高度、PCB 在传送带指爪上的夹持状态、传送带角度，以及是否使用托架等因素。

浸入深度通常也称为吃锡深度，是指 PCB 板经过钎料波峰时浸入波峰的深度，如图 9.13 所示。浸入深度过大，不仅波峰钎料易溢到 PCB 的上表面造成事故，而且还易产生桥连现象。浸入深度过浅，易发生局部漏焊。在工业应用中，PCB 经过波峰时浸入深度通常取 PCB 板厚的 $1/2 \sim 3/4$ 之间。

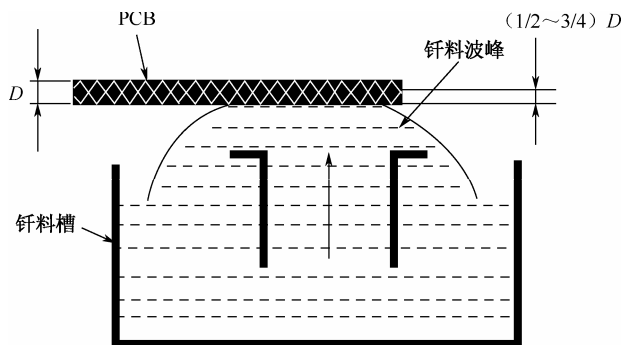


图 9.13 浸入深度

SMA 波峰焊接中 PCB 浸入钎料波峰的深度，扰流波与层流波是有差异的。第一波（扰流波）PCB 板浸入钎料波峰的深度要比较深，以获得较大的压力克服阴影效应。

9.3.3 助焊剂及涂层

1. 助焊剂的功能及成分特性

助焊剂用来提高被焊基体金属表面能水平，改善待焊接表面的可润湿性。



助焊剂的成分主要包括活性剂、稀释剂、发泡剂 3 种。电子产品焊接用助焊剂的活性范围,从腐蚀性强的有机酸到弱有机酸。松香基助焊剂的腐蚀性,取决于卤化物的类型与含量。有些松香基材料的残留物可以残留在焊后的 PCB 上,因为活性剂被松香树脂包裹、密封,对外显不出活性。松香对活性剂含量的比率可决定活性剂被松香包裹在其内的密封程度。目前使用的大多数免清洗波峰焊接用助焊剂均属弱有机酸配方。

2. 助焊剂喷涂量控制的方法

助焊剂喷涂量的测量一般采用称重法,即将样板经过助焊剂喷涂系统前后的质量进行测量,再通过公式计算出单位面积的喷涂量,公式如下。

单位面积的助焊剂喷涂量 $T = \text{喷涂总量}(P) / \text{喷涂面积}(S)$

助焊剂涂层必须是均匀的,且厚度上是受控的。助焊剂必须渗入孔内并漫流到引脚上。波峰焊接工艺中在 PCB 板上助焊剂喷雾涂覆量应精确控制在 $(300 \sim 750) \text{ mg/dm}^2$ 。若超过 750 mg/dm^2 将可能出现过量的助焊剂从 PCB 板上滴落下来。

9.3.4 预热温度

在波峰焊接工艺中增加预热处理工序,具有下列作用。

① 助焊剂在起作用前,需把助焊剂中的活性剂进行化学分解,然后这些具有活性的化学成分与基体金属表面氧化物互相作用,使氧化物从被焊表面清除。因此,必须把助焊剂预热到活化温度才能发生这种反应。

② 加快挥发性物质的挥发速度,从而消除波峰焊接中可能出现的潜在问题。这些挥发性物质主要来自助焊剂,但也可能来自 PCB 制造、储存和配送过程。挥发物在波峰上的出现可能引起钎料球飞溅。

③ 使被焊部件温度逐步增加,从而使波峰焊接过程中对 PCB 及安装的元器件所产生的有害热冲击降低到最低程度,缓和了热应力,从而使印制板的翘曲和变形现象减至最小。

④ 预热处理提高了 PCB 装配件的焊前温度,这样即可使 PCB 在与钎料波峰接触时,缩短把被焊件加热到润湿温度所需要的时间,从而可以加快传送带的夹送速度。这不仅提高了生产效率,而且还具有减弱焊缝中填充钎料和基体金属之间所发生的过度冶金现象,抑制 PCB 板、元器件、塑料零件等热变形等优点。

9.3.5 钎料槽温度

在波峰焊接工艺中,和被焊基体金属表面洁净度同等重要的是焊接过程中的加热温度。焊点在加热过程中,主要影响因素是热源的温度,被焊元器件和零件的热容量和热导,即被焊元器件和零件对焊点的散热效果。另外,还有活化和加热助焊剂、加热和熔化钎料以及保证良好润湿所必需的热量。对温度的这些要求必须和焊接设备能提供的热量相平衡。

1. 加热温度和接合强度

在焊接中,为了能最终获得接合部的最佳合金层,采取一定的加热手段供给相应的热能,



是获得优良焊点的重要条件之一。在最佳焊接条件下,焊点强度取决于焊接温度,如图 9.14 所示。接合温度在 250°C 附近具有最高的接合强度。在最高强度位置处,焊点表面具有最好的金属光泽,并且能在界面处生成合适的金属间化合物(以下简称 IMC)。随着温度的过量升高,接合界面 IMC 层生长过厚甚至大量生成 Cu_3Sn ,从而将导致接合强度降低,焊点表面将失去原有的金属光泽而出现粗糙的白色颗粒状。

2. 波峰焊接中的热过程

一般来说,有铅焊接及无铅焊接的波峰焊工艺窗口如下所述。

(1) 有铅波峰焊通用技术要求

- 预热温度:松香基助焊剂实测 $70\sim 120^{\circ}\text{C}$, 水基助焊剂实测 $80\sim 130^{\circ}\text{C}$ 。
- 焊接温度:实测 $200\sim 250^{\circ}\text{C}$ 。
- 焊接时间:单波峰 $2\sim 5\text{s}$, 双波峰 $2.3\sim 5\text{s}$ (其中高波要求在 0.3s 以上)。
- 传送速度:醇基助焊剂 $60\sim 180\text{cm/min}$, 水基助焊剂 $60\sim 150\text{cm/min}$ 。

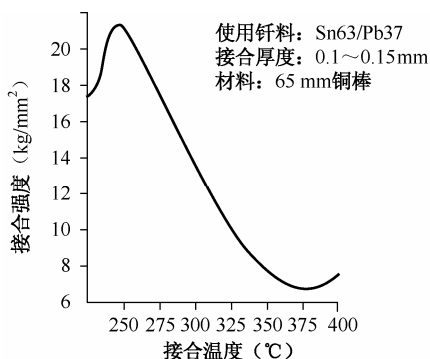


图 9.14 焊接强度与焊接温度的关系

(2) 无铅波峰焊通用技术要求

- 预热温度:醇基助焊剂实测 $75\sim 120^{\circ}\text{C}$, 水基助焊剂 $90\sim 130^{\circ}\text{C}$ 。
- 焊接温度:实测 $235\sim 265^{\circ}\text{C}$ 。
- 焊接时间: $3\sim 6\text{s}$ 。
- 传送速度: $60\sim 140\text{cm/min}$ 。

以有铅钎料 Sn37Pb 为例,在波峰焊接过程中,热量是焊接的绝对必要条件,热过程的控制及热量的有效利用,是确保波峰焊接效果的重要因素。有铅波峰焊接的热过程温度曲线如图 9.15 所示。

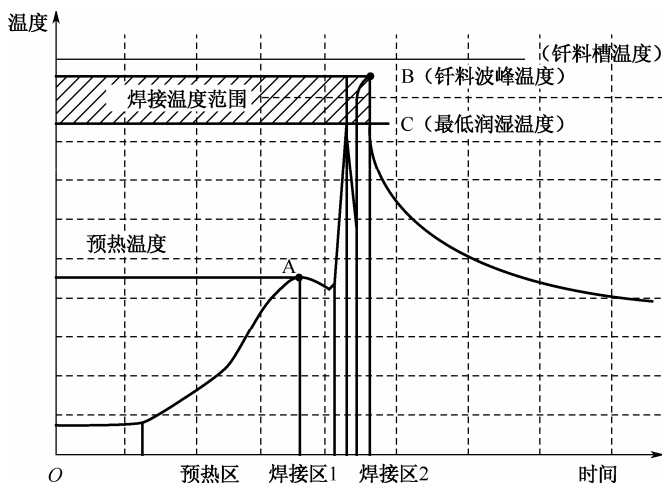


图 9.15 有铅波峰焊接的热过程温度曲线



9.4 波峰焊接常见缺陷及其抑制

波峰焊接过程是产生 PCBA 组件缺陷的主要工序,在整个 PCBA 组装过程中,它引起的缺陷率高达 50%。波峰焊接过程中出现的缺陷是前工序制造中存在问题的集中表现。波峰焊接常见的缺陷主要表现为虚焊、不润湿、反润湿、焊点轮廓敷形不良、针孔或吹孔、拉尖、钎料珠及钎料球、桥连、透孔不良等。

9.4.1 虚焊

1. 定义

焊点表面呈粗糙的粒状、光泽性差、流动性不好是虚焊的外观表现。从本质上讲,凡是在焊接过程中在连接接头的界面上未形成合适厚度的合金层 (IMC) 就可以判定为虚焊。

连接界面既未发生润湿又未发生扩散,好像用糨糊粘住似的,焊点表面呈粗糙的形状、光泽性差、接触角 $\theta > 90^\circ$, 如图 9.16 所示。此时钎料和基体金属接合界面之间为一层不可焊的薄膜所阻挡,界面层上未能发生所期望的冶金反应,这是一种显形的虚焊现象,从外观上就能判断。

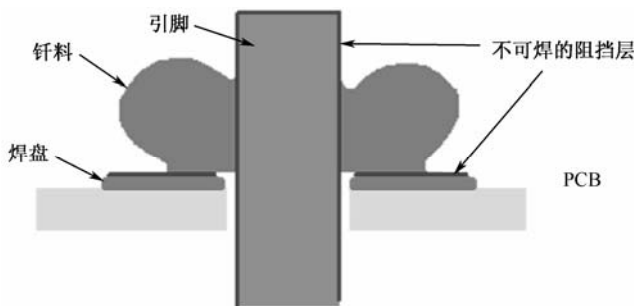


图 9.16 虚焊定义

2. 形成机理

(1) 波峰焊接接合过程发生的物理现象

通过焊接,金属为什么会接合到一起并形成连接强度呢?以常用的 Sn37Pb 合金钎料为例,在焊接温度作用下,它是通过熔融钎料润湿接合金属表面,再利用扩散作用在连接界面生成合金层 (IMC),从而结成一体的。

① 毛细管现象。

在洁净的固体金属表面上,放置熔融状态的洁净钎料,液态钎料就会在固体金属表面扩展并润湿固体金属。这是由于液态钎料在固体金属表面的细小凹凸间隙中,借助于毛细管现象,向四方扩展而引起的。



② 润湿作用。

焊接过程中接合作用的第一步是钎料借助毛细管现象在接合金属表面上充分铺展开。为使熔融的钎料润湿固体金属表面，必须具备一定的条件。其条件之一就是基体金属表面必须是洁净的。这样钎料与被接合的基体金属的原子间距才能接近到原子间力作用的程度。

③ 作用于原子间的力。

在高温下具有黏性的二相同金属间，只要在高温下加上不大的压力，就可以使它们之间相互紧密贴合。在焊接时，因为钎料处于熔融状态，在金属表面产生润湿，不需要加外力，只要基体金属表面是洁净的，就能很容易地达到原子间力作用所需要的距离。

④ 金属间化合物。

焊接是依靠在接合界面上生成合金层而形成连接强度的。这种合金层通常是一种金属间化合物。这种以合金的金属成分按原子量的比例结合的化合物称为金属间化合物。当用 Sn/Pb 系钎料焊接铜时，Sn 与 Cu 相互扩散而产生 Cu-Sn-Cu 的结合。这种结合在普通温度下生成 Cu₃Sn (ϵ 相) (基体金属侧)、Cu₆Sn₅ (η 相) (钎料侧)。

(2) 影响因素

- 基体金属表面不洁净，表面氧化或者被脏物、油脂、手汗渍等污染而导致表面可焊性差甚至不可焊。
- 外购 PCB、元器件等可焊性不合格，进入用户库房前未进行严格的入库验收试验。
- 库存环境不良，库存期过长。
- 钎料槽温度过高，导致钎料与母材表面加速氧化而造成表面对液态钎料的附着力减小。而且高温还溶蚀了母材的粗糙表面，使毛细作用下降，漫流性变差。

9.4.2 不润湿及反润湿

1. 现象

(1) 不润湿

波峰焊接后基体金属表面产生不连续的钎料薄膜。在不润湿的表面，钎料根本就没有与基体金属完全接触，因此，可以明显地看到裸露的基体金属，焊盘不湿润如图 9.17 所示。

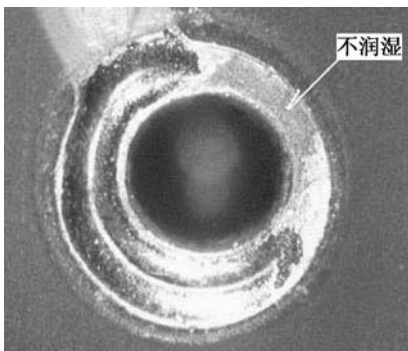


图 9.17 不润湿



(2) 反润湿

波峰焊接中钎料首先润湿基体金属表面,后因润湿不好而回缩,从而在基体金属表面上留下一层很薄的钎料覆盖的部分区域,同时又断断续续的有些分离的钎料球。大钎料球与基体金属接触处有很大的接触角,钎料形状不规则,焊盘反湿润如图 9.18 所示。

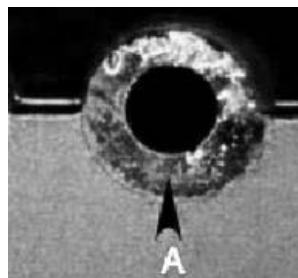


图 9.18 反润湿

2. 形成原因

(1) 不润湿

- 基体金属不可焊。
- 使用助焊剂的活性不够或助焊剂变质失效。
- 表面上的油或油脂类物质使助焊剂和钎料不能与被焊表面接触。

(2) 反润湿

- 在基体金属表面上某种形式的污染引起半润湿现象。
- 当钎料槽里的金属杂质浓度达到一定值后,也会产生反润湿状态。
- 在表面严重污染而导致可焊性不良的极端情况下,在同一表面上会同时出现不润湿和反润湿共存的状态,如图 9.19 所示。
- 焊接时间和温度控制不当,导致界面合金层过厚而形成反润湿现象。

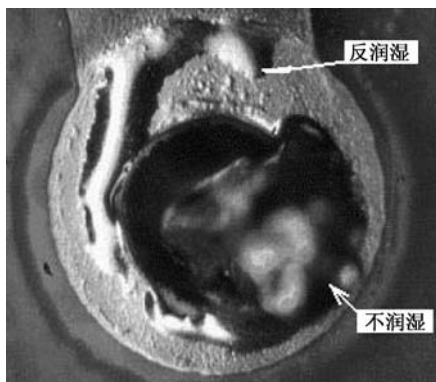


图 9.19 不润湿和反润湿共存

3. 解决办法

- ① 改善基体金属的可焊性。
- ② 酌情选用活性较强的助焊剂。
- ③ 合理地调整好焊接温度和焊接时间。
- ④ 彻底清除基体金属表面的油、油脂及有机污染物。
- ⑤ 保持钎料槽中的钎料纯度。



9.4.3 焊点轮廓敷形不良

1. 现象

(1) 钎料过多（堆焊）

钎料在焊点上堆集过多而形成凸状表面外形，看不见元器件引线轮廓，钎料过多如图 9.20 所示。

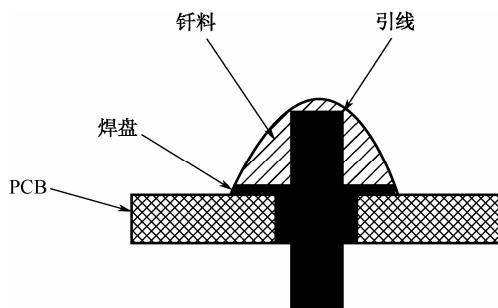


图 9.20 钎料过多

(2) 钎料过少（干瘪）

焊区未达到规定的钎料量，外观表现为焊点干瘪、浸润高度 $H < D$ ，焊点钎料过少如图 9.21 所示。

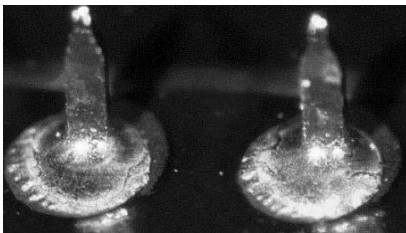


图 9.21 钎料过少

2. 形成原因

(1) 尺寸配合不当

- 焊盘-导线尺寸配合不当。
- 当出现大焊盘、小引线时，焊点外观表现为钎料不足、干瘪，如图 9.22 所示。
- 与此相似，当小焊盘配粗引线时，也会出现钎料量不足、干瘪的轮廓敷形，如图 9.23 所示。

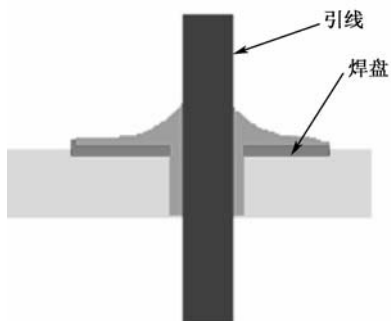


图 9.22 大焊盘小引线

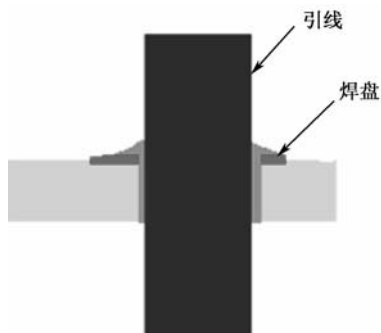


图 9.23 小焊盘粗引线

(2) 波峰焊接工艺参数选择不当

波峰焊接操作中，若钎料槽温度过高，夹送速度过慢以及倾角过大都将可能导致焊点干瘪。倾角过大时将迫使波峰的工作段前移到速度很大的区间。由于钎料流体下冲力很大，黏附在焊点上的钎料液滴被高速液流过度冲刷，从而导致焊点干瘪且敷形不对称的不良焊点。

3. 解决办法

- ① 改善基体金属的表面状态和可焊性。
- ② 正确地设计 PCB 的图形和布线。
- ③ 合理地调整好钎料槽温度、夹送速度、夹送倾角。
- ④ 合理地调整预热温度。

9.4.4 针孔或吹孔

1. 现象

针孔与吹孔的区别：针孔是在焊点上出现的小孔，针孔内部通常是空的；而吹孔则是焊点内部空气完全喷出而形成的可看到内部的大孔。针孔如图 9.24 所示，吹孔如图 9.25 所示。



图 9.24 针孔

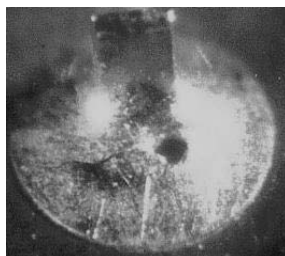


图 9.25 吹孔

2. 形成原因

- ① 焊盘周围氧化或有毛刺。



② 焊盘不完整。

③ 引线氧化、有机物污染、预处理不良等都可能产生气体而造成针孔或吹孔。

④ 焊盘或引脚局部润湿不良。

⑤ 基板有湿气：如使用较便宜的基板材质，或使用较粗糙的钻孔方式而导致在贯通孔处容易吸收湿气，在焊接热作用下蒸发出来。

⑥ 电镀溶液中的光亮剂：使用大量光亮剂电镀时，光亮剂常与金属同时沉积，遇到高温则挥发，特别是镀金层。

⑦ 生产场地文明卫生条件差。

3. 解决办法

① 改善 PCB 的加工质量。

② 改善焊盘和引线表面的洁净状态和可焊性。

③ 基板与元器件引脚污染源，可能是来自元器件引脚成形、插件过程或储存状况不佳造成的，用溶剂清洗即可。但若发现污染物为硅有机物时，因其不容易被溶剂清洗，故在制程中应考虑其他代用品。

④ PCB 在 120℃ 烘箱中预烘两小时。

9.4.5 拉尖

1. 现象

波峰焊接后在元器件和零件脚顶端或焊点上发现有呈钟乳石状或冰柱形的钎料称为拉尖，焊点拉尖不良如图 9.26 所示。

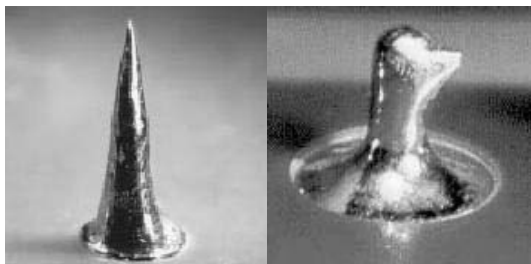


图 9.26 焊点拉尖不良

拉尖大多发生在 PCB 铜箔电路的终端。PCB 经过波峰时，PCB 上的液态钎料下坠受到限制时就出现此现象，在高频、高压电路中，尤其需要注意此类缺陷的危害。

2. 形成原因

① 基板的可焊性差，焊盘氧化、污染。

② 助焊剂用量少；助焊剂选用不合适或变质失效。

③ 预热不当、基板翘曲。

④ 钎料槽温度低，铜箔面太大。



- ⑤ 夹送速度不合适、焊接时间过短或过长。
- ⑥ PCB 压波深度过大；钎料纯度变差，杂质容量超标。

在波峰焊时，从拉尖的形状大致可以知道钎料槽的温度以及夹送速度是否合适。当拉尖有金属光泽且呈细尖状时，不是钎料槽的温度低就是夹送速度过快；而当拉尖呈园、短、粗而无光泽状态时，则原因与上述完全相反。

3. 解决办法

- ① 净化被焊表面。
- ② 调整和优选助焊剂。
- ③ 合理选择预热温度；基板上的大铜箔面，可用阻焊膜（绿油）将大铜箔面分隔成尺寸约为 $3\text{mm} \times 10\text{mm}$ 区块来改善。
- ④ 调整钎料槽温度。
- ⑤ 调整夹送速度。
- ⑥ 调整波峰高度（或压波深度）；钎料槽中铜含量应控制在 0.3% 以下。

9.4.6 钎料珠及钎料球

1. 现象

① 钎料珠：焊盘间的绝缘表面溅有小的钎料颗粒称钎料珠，，如图 9.27 所示。钎料珠可能会影响电子产品的正常工作，甚至造成重大事故。

② 钎料球：波峰焊接后在板残留有较大尺寸的钎料珠称为钎料球，如图 9.28 所示。

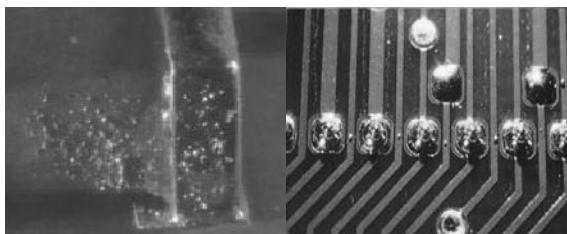


图 9.27 钎料珠



图 9.28 钎料球

2. 形成原因

- ① PCB 在制造或储存中受潮。
- ② 环境湿度大，潮气在多缝的 PCB 上凝聚，厂房内又未采取驱潮措施。
- ③ PCB 和元器件拆封后在线滞留时间过长，增加了吸潮机会。
- ④ 镀层和助焊剂不相溶、助焊剂选用不当。
- ⑤ 涂助焊剂或涂覆量不合适、助焊剂吸潮夹水。
- ⑥ 阻焊层不良，黏附钎料残渣。
- ⑦ 基板加工不良，孔壁粗糙导致槽液积聚，PCB 设计时未进行热分析。
- ⑧ 预热温度选择不合适。



- ⑨ 镀银件密集。
- ⑩ 钎料波峰形状选择不合适。

3. 解决办法

- ① 改进 PCB 制造工艺, 提高孔壁的光洁度, 改进 PCB 包装工艺和储存环境条件。
- ② 尽可能缩短在线的滞留时间, 从 PCB 开封→安装元器件→波峰焊接应在 24 小时内完成, 特别是湿热地区尤为重要。
- ③ PCB 上线前预烘, PCB 布线和安装设计后应进行热分析, 以避免板面局部形成大量的吸热区。
- ④ 安装和波峰焊接场地温度应保持在 $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, 相对湿度不应超过 65%。
- ⑤ 正确地选择助焊剂, 特别是助焊剂所用溶剂的挥发速度要合适。
- ⑥ 合理地选择预热温度和时间。温度过低、时间过短, 助焊剂中的溶剂不易挥发, 残留的溶剂过多时进入波峰后温度急剧升高, 溶剂剧烈挥发, 在熔融钎料内形成高压气泡, 爆喷后形成大量的钎料珠。
- ⑦ 尽可能采用辐射和对流复合预热方式, 加速 PCB 孔内溶剂的挥发。
- ⑧ 加强助焊剂的管理, 避免运行过程中的吸潮, 控制好助焊剂的涂覆量。
- ⑨ 设计上应尽量避免大量采用镀银的引脚, 因为过量的银在波峰焊接中易产生气体。
- ⑩ 钎料波形设计应保证钎料溅落过程不发生过剧的撞击运动, 以避免因撞击击出小钎料珠。

9.4.7 桥连

过多的钎料使相邻导体（特别是不等电位导体）之间连通起来的现象统称为桥连。

1. 桥连现象

(1) 现象 A

焊盘和导线（引脚）之间桥连, 如图 9.29 所示。

为了避免此现象, 在通孔安装 (THT) 方式中通常相邻焊盘或导线之间的安全间距应尽可能大于或等于 0.8mm, 而对密集型焊点群 (如密集型多芯插座) 焊盘之间的最小间距必须大于或等于 1.0mm。

(2) 现象 B

在相邻两个引脚之间的空间发生的桥连, 如图 9.30 所示。

此现象通常是由于相邻引线伸出焊盘的高度过长, 引脚之间的间距过短所致。另外, 焊接速度过快、倾斜角过小对此现象的发生也有一定的影响。



图 9.29 桥连现象

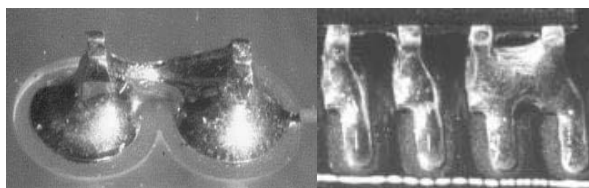


图 9.30 桥连现象

(3) 现象 C

多芯接点（密脚元器件）间的横向桥连及纵向桥连，如图 9.31 所示。

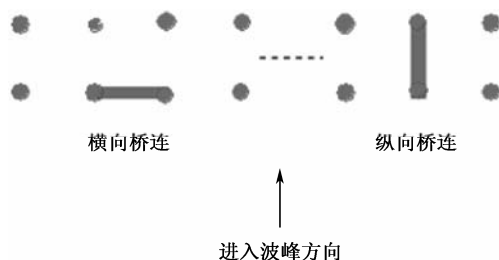


图 9.31 多芯接点间的横向桥连及纵向桥连

纵向桥连主要的影响因素是钎料波形选择不当，引脚伸出长度过长以及夹送速度过快。横向桥连现象的出现则主要是由于钎料波峰中的钎料存在横向流动所致。

(4) 现象 D

多芯接点间的复合桥连现象如图 9.32 所示，实际案例如图 9.33 所示。

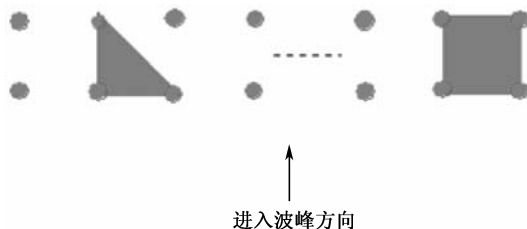


图 9.32 多芯接点间的复合桥连现象

复合桥连现象产生的原因，主要是由于波峰的平整度差而导致波峰钎料出现了明显的横向流动所致。波峰中存在漩涡运动对复合桥连现象的发生也有一定的影响。



图 9.33 多芯接点间的复合桥连现象实际案例



(5) 现象 E

在 SMT 波峰焊接中由于高大元器件阻挡造成液态钎料回流而形成桥连，波峰贴片元器件间桥连如图 9.34 所示。

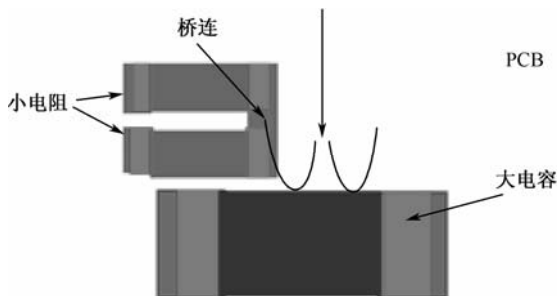


图 9.34 波峰贴片元器件间桥连

造成此现象的主要因素是 PCB 设计不良。

(6) 现象 F

由于 SMT 焊盘间距设计不当造成的桥连现象，波峰贴片元器件间桥连如图 9.35 所示。

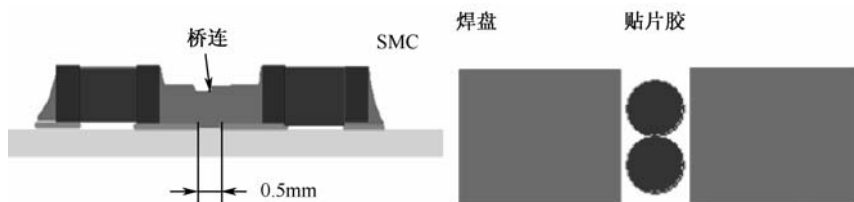


图 9.35 波峰贴片元器件间桥连

虽然相邻两个元器件体电极之间的距离合适，但是焊盘间距太小而导致相邻两个电极之间被钎料填充而发生桥连。在 SMT 波峰焊接中相邻 SMC/SMD 元器件体及相关焊盘之间的安全距离应符合要求。SMC 与晶体管间的距离如图 9.36 所示。

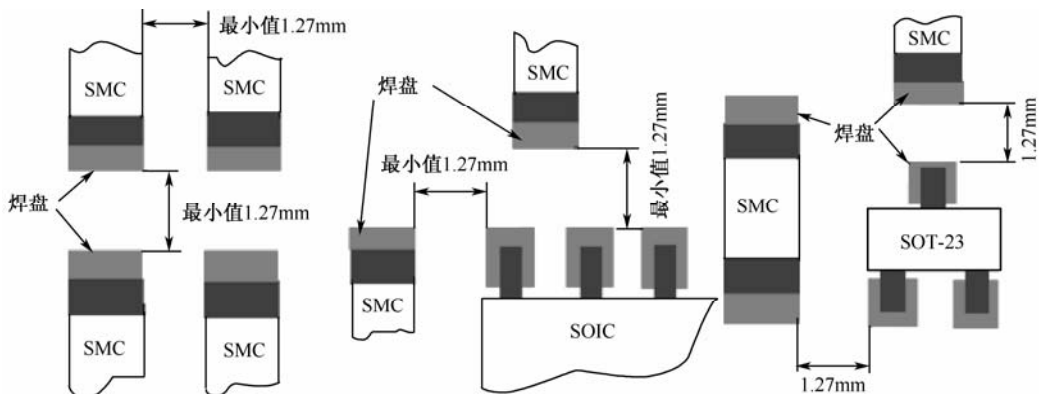


图 9.36 SMC 与晶体管间的距离



2. 桥连现象的预防

- ① 改善钎料表面张力作用；改善助焊剂的涂覆方式和涂覆量；检测助焊剂的有效性。
- ② 改变钎料波峰剥离薄层区的波速特性。
- ③ 调整焊接时间和夹送速度；调整焊接温度和预热温度。
- ④ 调整夹送倾角和压波深度。
- ⑤ 纠正不良的设计；正确处理引线折弯方向和伸出高度。
- ⑥ 严格监控钎料槽钎料的污染程度（杂质金属含量）。

9.4.8 金属化孔填充不良现象的发生及其预防

1. 现象表现

金属化孔填充不良是无铅波峰焊接中较难处理的高发性缺陷，其实际案例，透孔不良如图 9.37 所示。

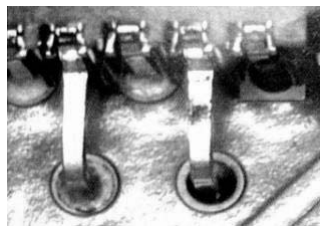


图 9.37 透孔不良

2. 波峰焊接中钎料对金属化孔填充性的基本要求

金属化孔引线焊接质量要求的最低可接收条件如下所述。

IPC-A-610 对金属化孔引线焊接质量的最低可接收条件如图 9.38 所示，其具体数据要求如表 9.4 所示。其中 2 级要求的垂直填充可小于 75%，达到 50%即可，但需满足 IPC 标准中的一些相应条件要求。

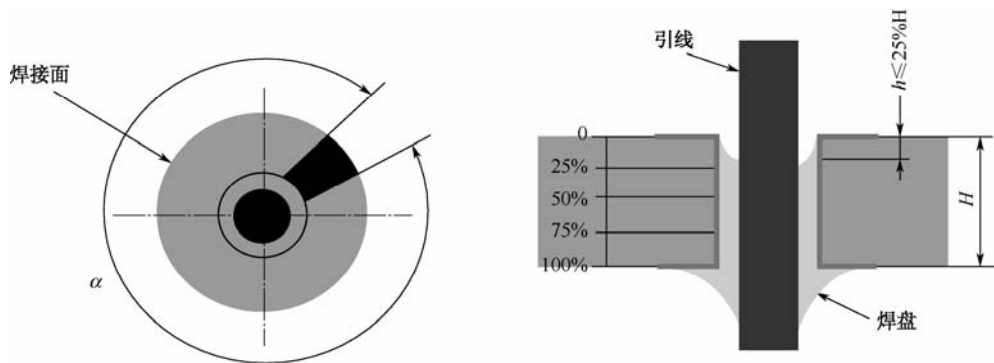


图 9.38 金属化孔引线焊接质量的最低可接收条件

表 9.4 金属化孔引线焊接质量的最低可接收条件具体数据要求

| 规 定 | 2 级要求 | 3 级要求 |
|---------------------|-------|-------|
| 元器件面：引线和孔壁润湿范围 | 180° | 270° |
| 孔内钎料填充的程度（占孔总深度百分比） | 75% | 75% |
| 焊接面：焊点润湿范围 | 270° | 330° |
| 元器件面：焊盘被钎料润湿的比例 | 0 | 0 |
| 焊接面：焊盘被钎料润湿的比例 | 75% | 75% |



3. 填充性不良所表现的主要形式

(1) 可焊性不良导致的透孔不良

① 现象 A。

焊盘及孔壁润湿良好、引线可焊性不良所导致的透孔不良现象的特征：钎料对焊盘及孔壁润湿角很小，而对引线的润湿角很大，孔隙内钎料液面成倒“八”字形，如图 9.39 (a) 所示。

② 现象 B。

引线润湿良好、焊盘及孔壁可焊性不良所导致的透孔不良现象的特征：钎料对引线润湿角很小，而对焊盘及孔壁的润湿角很大，孔隙内钎料液面成正“八”字形，如图 9.39 (b) 所示。

③ 现象 C。

引线、焊盘及孔壁可焊性均不良所导致的透孔不良现象的特征：钎料对引线、焊盘及孔壁的润湿角均很大，焊角及孔隙内钎料液面均成凸面形，可焊性不良导致的透孔不良如图 9.39 (c) 所示。



图 9.39 可焊性不良导致的透孔不良

(2) 工艺参数选择不当导致的透孔不良现象

① 现象 D。

由于波峰焊接过程中热量供给不足（夹送速度过快、钎料槽温度偏低）或助焊剂在喷雾中未透入到孔中所造成的透孔不良，其特征是孔隙中液面呈凸月形，如图 9.40 所示。

② 现象 E。

波峰焊接中热量供给合适，但由于 PCB 浸入钎料波峰太浅造成透孔不良，如图 9.41 所示。

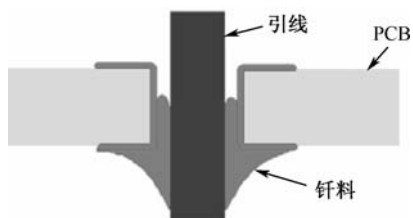


图 9.40 热量供给不足引起的透孔不良

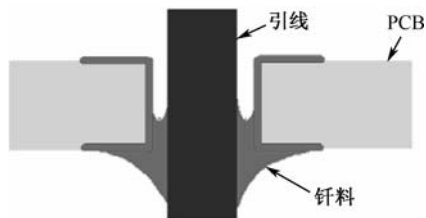


图 9.41 PCB 浸入钎料波峰太浅造成透孔不良



4. 透孔不良现象的解决方式

① 改善单板设计。在单板的布局设计上尽量避免会影响焊点受热的设计不良，如焊点连接 PCB 内层铜箔过多、焊点紧靠相邻 SMT 元器件使得掩膜托盘开口过窄等。

② 保证助焊剂的喷量，保证活性良好，以提高钎料在焊盘及孔内的润湿程度，帮助钎料在孔内爬升。

③ 调整焊接时间和夹送速度；调整焊接温度和预热温度。由于波峰钎料槽温度是焊接时的主要热量供给来源，故提高焊接时间能显著改善热量供给不足导致的透孔不良。

④ 调整压波深度。PCB 浸入钎料波峰一定的深度而使孔隙内获得一定的向上压力，这对钎料对孔隙的填充过程有利。

⑤ 减少钎料槽中的氧化物（焊料渣）。由于波峰面上滞留的氧化物有阻碍液态钎料对基体金属润湿的作用，因此，也就阻碍了液态钎料对孔隙的填充性，从而构成了钎料对孔隙填充不良的因素。






思 考 题

- ① 什么是波峰焊接技术？
- ② 波峰焊接设备由哪些部分组成？每部分的作用是什么？
- ③ 波峰焊接工艺的主要参数有哪些？每个参数的作用是什么？
- ④ 波峰焊接常见的缺陷有哪些？每种缺陷该如何解决与抑制？

第10章 压接技术基础知识



本章要点

-  压接技术简介
-  压接连接机理
-  压接设备及工装
-  压接操作通用要求
-  压接工艺过程控制



10.1 压接技术简介

10.1.1 压接连接的定义

在常温下，使两个以上金属物体相接触，不必为金属施加热能或化学能，只需加机械压力，直至金属发生塑性变形而形成金属组织一体化的接合过程称为压接连接。

压接连接工艺方法是 1880 年由美国的某公司发表的，在第一次世界大战期间，主要为满足飞机制造上的要求。它是通过压力使得被连接的导体形成永久连接的一种工艺方法，其主要优点如下。

- ① 不会因腐蚀而增加电阻。
- ② 电气接触良好。
- ③ 耐高温也耐低温。
- ④ 连接的机械强度高。
- ⑤ 工艺简单，易于实现自动化。
- ⑥ 环保性好，无污染。

10.1.2 压接工艺的应用和压接端子的特点

1. 在军用、民用产品中的应用

长期以来，国内外军用、民用等电子产品中广泛使用压接技术。压接技术能长期在高温、超低温、振动、冲击等恶劣环境下工作；质量控制方便，可靠性高，压接连接的失效率比普通烙铁焊连接低一个数量级；可用于各种无法焊接的特殊材料的导线；可在高空、井下、火工品现场等无电热源和禁用电热工具的特殊环境下进行可靠的连接，如在超低温环境下工作的连接点不能使用锡焊，采用压接就可完全满足使用要求。由于环境可靠性要求。飞机上的电连接器全部要求压接。

2. 压接端子的结构类型及特点

(1) 压接连接的结构类型

压接连接的结构类型有很多，粗略地归类可分为以下两大类。

① 导线和端子之间的压接接续。

导线和端子之间的压接接续的典型应用实例，不同种类的端子和导线的压接接头如图 10.1 所示。

② 连接器和 PCB 金属化通孔之间的压接接续。

连接器和 PCB 金属化通孔之间的压接接续，是背板产品中应用最多的连接接续形式，如图 10.2 所示。

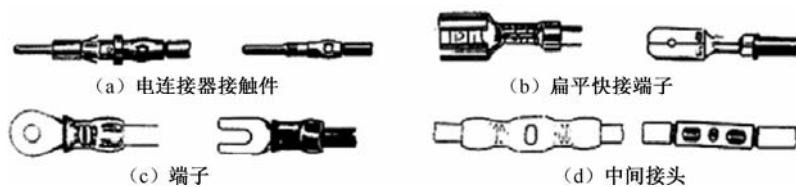


图 10.1 不同种类的端子和导线的压接接头

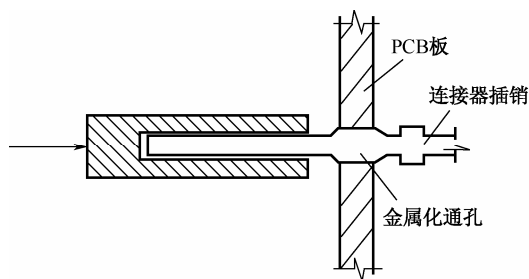


图 10.2 连接器和 PCB 金属化通孔之间的压接接续

(2) 压接端子的特点

- ① 不同于软钎焊，不需要熟练的技术，一般人员均能进行操作。
- ② 连接质量一致性好。
- ③ 能适用大批量生产（可使用自动压接装置或气压式压接工具）。
- ④ 无热损伤。
- ⑤ 应用范围广（除用于铜、黄铜外，还可用于镍、镍铬合金、铝等许多金属导体的连接）。

10.2 压接连接机理

压接时金属相互接合过程，不像熔焊时那样需要使被连接的金属熔融，也不像软钎接那样，需要其他熔融金属来填充缝隙。它之所以仅仅通过金属相互直接压接，就能保持连接的电气和机械性能，是因为在局部施加强大压力时，在端子的金属部分和电线的导体之间产生类似于原子的熔融现象而使金属连成一体。对压接机理的描述如图 10.3 所示，压接机理图如图 10.4 所示。

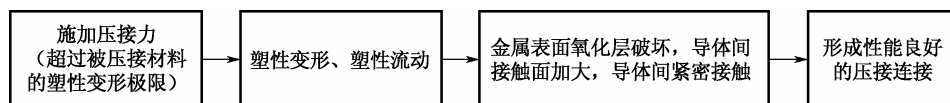


图 10.3 压接机理

压接残留应力模型如图 10.5 所示，这时端子壁和孔壁金属之间，由于铜的塑性变形，互相挤压，保持着紧密的接触。也就是说，孔内的铜端子和孔壁同时受外力而发生压缩变形。在压力 F 消失后，由于铜的弹性产生使铜端子恢复其原状的力。借助这种储存在铜端子内的



弹性能量，产生对孔内壁的压力而形成电的接触。在这种情况下，压缩的端子压力非常大，虽然端子和孔壁铜接触十分紧密，但孔壁受到挤压作用而降低了它的抗拉强度。故在满足压接头电气性能要求的同时，也要求满足压接头的机械性能要求。压接连接的最佳压接量要通过试验并绘制压接特性曲线图来确定，压力试验如图 10.6 所示，压接特性曲线如图 10.7 所示。

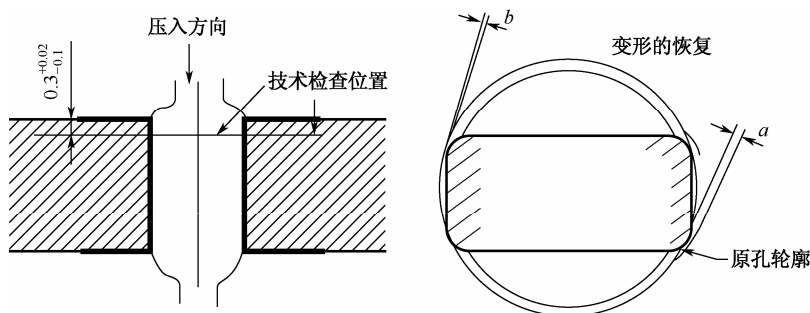


图 10.4 压接机理图

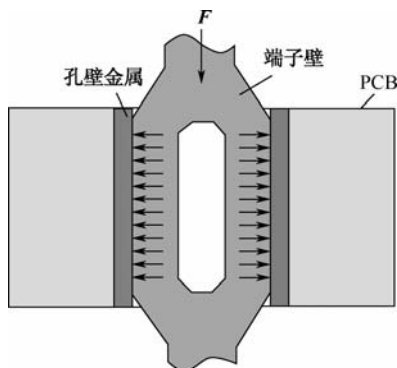


图 10.5 压接残留应力模型

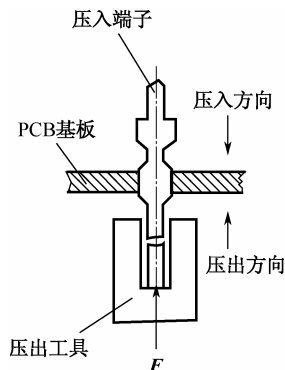


图 10.6 压力试验

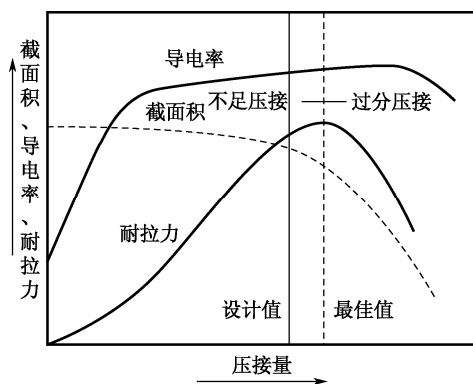


图 10.7 压接特性曲线

接合点的端子和导线的变形过程描述如下。

- ① 将端子正对 PCB 金属化通孔。
- ② 将端子垂直压入金属化通孔中。
- ③ 端子弹性变形和孔壁金属紧密接触，端子与孔壁接触面的氧化物及污物被挤压脱落。



- ④ 端子两侧棱角部分被挤压楔入孔壁金属中。
- ⑤ 端子沿纵轴方向稍微伸长。
- ⑥ 随着楔入深度增大，在某一值上抗拉强度达到最大值，而后便逐渐减小。
- ⑦ 楔入深度若过分增大，孔壁金属截面减小，这对抗拉强度不利。

如上所述，通过接合端子、孔壁金属和压接工具三者协力完成了压接过程。

压接时控制好压力非常重要，若压力不够，或者所用的端子与金属孔不匹配，都不会使端子两个侧面牢固地“吃进”孔壁金属而形成一体，产生端子脱出现象，即使没有端子脱出，也会造成接触电阻增大，由此引起压接点发热，造成事故。

10.3 压接设备及工装

10.3.1 压接方式分类及设备

1. 按自动化分类

按自动化可分为手动压接、半自动压接和全自动压接。

(1) 手动压接

以 HS2000 型号为例，如图 10.8 所示。手工摇臂式压接，操作灵活，适用性强；手工更换压接头，双手放板后，摆放压接工装，单手摇臂下压，目视下压位置是否到位，未压到位时，增加压力重复下压动作；主要用于普通系统板和背板，操作方便灵活，但人工等不可控因素较多，如压接速度和压力、下压位置，只能人工目视判断连接器接触 PCB。



图 10.8 手动压接



图 10.9 半自动压接 1

(2) 半自动压接

① 半自动压接 1。以 YJ-25 型号为例，如图 10.9 所示，气压控制、LED 显示。手工更换压接头，移动待压接连接器到压接位置后，脚踩开关开始压接，设定压接位置控制，速度较快；主要用于背板压接，解决手工压接效率低、力度不够等问题，但压力监控精度有限，难以满足高速连接器等压接要求。

② 半自动压接 2。以 JP1004 型号为例，如图 10.10 所示，伺服电动、压力自动检测。

手工更换压接头，移到连接器到压接位置后，脚踩开关开始压接，通常选用一定速度到设定位置的程序模式，可以分段组合多种控制模式；主要用于普通系统板的较高端连接器压接，压接速度比手工慢，保障压接质量。



图 10.10 半自动压接 2



图 10.11 全自动压接

(3) 全自动压接机

以 Tyco AEP 6T 型号为例，如图 10.11 所示，伺服电动、压力自动检测、多种模式复合压接。可以自动实现更换压头、自动转换程序压接等功能；压头可以自动旋转 0°、90°、180°，实现压力监测和全程追溯，可以分段设置压接参数；是 AMP、FCI、Amphonal、molex 等众多压接连接器的推荐压接设备。

2. 按控制方式

控制方式可分为手工、气动、液压、伺服，压接控制方法比较如表 10.1 所示。

表 10.1 压接控制方法比较

| 压接设备 | 结构 | 压力控制 | 行程控制 | 压接速度 | 备注 |
|------|---------------------|----------------------|-----------------|------------------------------|----------------------|
| 手动压接 | C 型 | 人工手感控制，无精度 | 人工控制或螺钉限位 | 人工控制 | 方便灵活 |
| 气动压接 | C 型 | 人工调节，精度低 | 气缸行程，0.5mm | 人工设定气压设定 | 强度低，速度快 |
| 液压压接 | C 型 | 人工调节，精度低 | 机械开关等，0.5mm | 人工调节设定 | 强度低，速度快 |
| 伺服压接 | H 型 | 传感器软件控制，压力曲线 | 伺服电动机电子控制 10μm | 可以分段控制，10μm/s | 压接曲线过程监控 |
| 特点说明 | H 型结构的压头垂直度、压合精度更稳定 | 压力监控可以发现连接器跪针、针脚偏移问题 | 高精度是保障压接质量的首要因素 | 金属化通孔（鱼眼孔）变形时，低速压接可以有效提高压接质量 | 高速连接器和压接质量都要求对压接过程监控 |

3. 按压接过程

按压接过程可分为固定压力模式、按引脚数固定压力模式、固定高度模式、PARS（平均压力）模式、压力增量模式，压接过程比较如表 10.2 所示。



表 10.2 压接过程比较

| 压接过程控制 | 实现方式 | 主要特点 | 备注 |
|--------------|-----------------|---------------------------------|--------------------|
| 固定压力模式 | 液压或气压 | 设定固定压力压接 | 容易损伤 PCB 或连接器 |
| 按引脚数固定压力模式 | 液压、气动、电动 | 按连接器引脚设定压力，不同引脚数不同压力 | 不能根据引脚或通孔偏移等异常调节 |
| 固定高度模式 | 伺服电动 | 逐渐增加压力使引脚插入到指定位置，通常用于压接过程的初期和中期 | 要求 PCB 和连接器厚度均匀精密 |
| PARS（平均压力）模式 | 压力检测和闭环控制，伺服电动机 | 根据实际压接过程中压力大小，设定平均压力范围，自动控制压力 | 通常用于压接过程的结束阶段 |
| 压力增量模式 | 压力检测和闭环控制，伺服电动机 | 检测连接器底端接触电路板时压力突然增大来判断压接结束 | 适用于坚固的连接器，用于压接结束阶段 |

10.3.2 压接工装

压接工装是为保证压接工艺和流程能正确执行而所需的装置或器具。有的是标准件，可以购买，有的是专用件，要自行设计。压接工装一般分为压接上模、压接底模、压接衬板。

1. 压接上模

压接上模用于支撑连接器的上部分模具，如图 10.12 所示。

2. 压接底模

压接底模用于支撑连接器的底部模具，如图 10.13 所示。

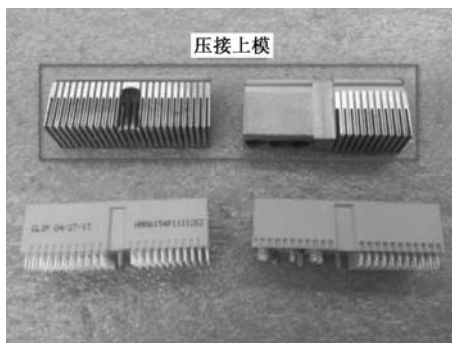


图 10.12 压接上模

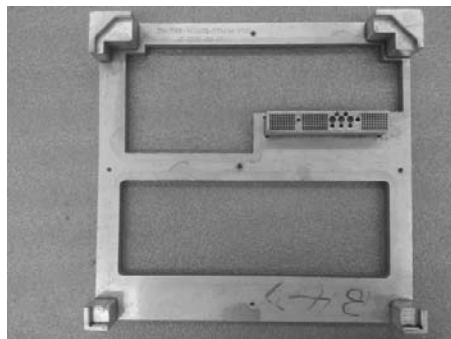


图 10.13 压接底模

3. 压接衬板

压接衬板用于支撑背板产品压接元器件的压接模具，与压接底模类似，但是其材质一般为 PCB 常用基材的 FR4，如图 10.14 所示。

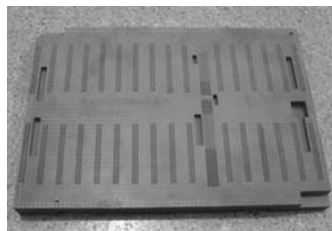


图 10.14 压接衬板



10.4 压接操作通用要求

10.4.1 半自动压接单点通用要求

1. 工艺流程

半自动压接制程可以分为 4 部分：插件、放板、压接、取板，半自动压接的工艺流程如图 10.15 所示。

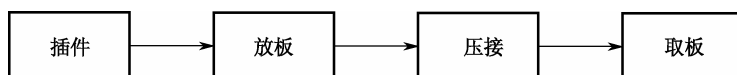


图 10.15 半自动压接的工艺流程

(1) 插件

确保连接器准确无误地插入 PCB 对应的压接孔内。插件时需参照丝印方向，要求连接器方向与丝印方向一致。当连接器插入 PCB 孔内后，用手轻轻按压连接器，使连接器鱼眼孔卡在 PCB 孔口，确保连接器与 PCB 板垂直，无歪斜。

(2) 放板

确保将被压接的连接器稳定、安全地放到压接头下方。如果需要底模，应先放工装再放 PCB 板。根据单板的宽度，选择 1 个或 2 个“支撑工装”同时使用。

通常 PCB 上不止一个元器件需要压接，此时需手工移动并重新放置单板，每次移动以连接器稳定、安全地位于压接头正下方为准。

(3) 压接

启动压接开关进行压接，确保连接器稳定、垂直地进入 PCB 的金属化孔内。

(4) 取板

确保将已压接完的 PCBA 稳定、安全地拿出设备。

2. 工艺参数

(1) PCB 厚度

PCB 厚度是指将 PCB 放在压接设备中，PCB 沿压接头行程方向上的 PCB 尺寸。

(2) 压接力

压接力是指连接器在压接过程中施加在每个引脚上力的总和。



该参数属性为“调试”，保证在一定的压力范围内连接器压入孔内，且不会导致连接器和单板压坏。

(3) 压接头高度

压接头高度是指通过手柄将压接头压至最低高度时，压接头下表面距离单板上表面的高度。

该参数属性为“调试”，需保证在压接行程内压接到位，不出现过压问题。

3. 设备工艺参数调制

在常规的操作下，新产品的各个参数的调制建议由初始参数开始。如果有十分类似的产品经验，也可以由工程师决定从该类似产品的经验值开始。在批量生产中，参数的调制是用来处理因设备或材料的变化或漂离指标造成的工艺问题。

具体的产品所需设备调制的工艺参数，可参考具体的设备作业指导书。

10.4.2 全自动压接单点通用要求

1. 工艺流程

全自动压接工艺通过自动设备（全自动压接机）对压接的全过程进行施工和管控。其制程可以分成 5 部分：插件、放板、定位、压接、取板，全自动压接的基本工艺流程如图 10.16 所示。

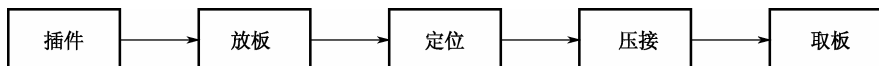


图 10.16 全自动压接的基本工艺流程

全自动压接的基本工艺流程与半自动的插件、放板、压接、取板相同，其作用和原理不再赘述。增加定位的原理及作用是确保每一块 PCB 放在适当的定位孔内固定，定位孔的精度要求 $\pm 0.01\text{mm}$ 。确保整个放板和压接过程中 PCB 的位置保持不变。PCB 的平整度也是保证印刷质量的重要因素，所以在工艺开发、设置和调整阶段，工程师必须制定适当的夹板定位方法。为了确保压接质量，本工序要求在对位不良的情况下停机报警。

2. 工艺参数

(1) PCB 宽度

PCB 宽度是指将 PCB 放在压接设备中，PCB 沿设备 Y 轴方向上的 PCB 尺寸。如果 PCB 非正方形或长方形时，则指此方向的最大尺寸或最宽部位的尺寸，如图 10.17 所示。

在自动压接机的条件下，这是个属于限制属性的工艺参数，必须满足设备允许的最大尺寸要求，才能放入 PCB 板进行压接。

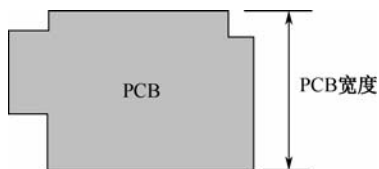


图 10.17 PCB 宽度

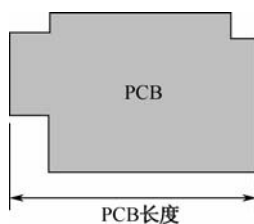


图 10.18 PCB 长度

(2) PCB 长度

PCB 长度是指将 PCB 放在压接设备中, PCB 沿设备 X 轴方向上的 PCB 尺寸。如果 PCB 非正方形或长方形时, 则指此方向的最大尺寸或最长部位的尺寸, 如图 10.18 所示。

在自动压接机的条件下, 这是个属于限制属性的工艺参数, 必须满足设备允许的最大尺寸要求, 才能放入 PCB 板进行压接。

(3) PCB 厚度

PCB 厚度是指将 PCB 放在压接设备中, PCB 沿设备 Z 轴方向上的 PCB 尺寸, 如图 10.19 所示。



图 10.19 PCB 厚度

在自动压接机的条件下, 这是个属于限制属性的工艺参数, 必须满足设备允许的最大尺寸要求, 才能进行压接。

(4) 双面板底部元器件高度

双面板底部元器件高度是指在设备运行时, 在 PCB 不被压接的一面上, 沿 PCB 板厚度方向, 元器件所体现的最高高度。这个高度不是指单个元器件的高度, 而是指所有元器件中的最高高度; 也不是指元器件本身的规格尺寸, 而是指从底部 PCB 表面向下延伸的高度, 如图 10.20 所示。

在自动压接机的条件下, 这是个属于限制属性的工艺参数, 必须满足设备允许的最大尺寸要求, 才能进行压接。

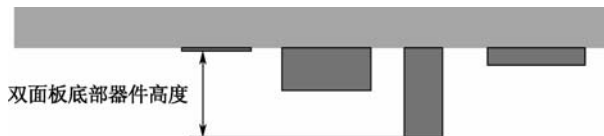


图 10.20 双面板底部器件高度

(5) 压力

压力是指连接器在压接过程中施加在每个引脚上力的总和, 该压力随着引脚在 PCB 金属化孔的行程而变化。该参数属于调试属性的工艺参数, 保证在一定的压力范围内连接器压



入孔内，在压接结束时脱离压力不会导致连接器压坏。

(6) 压接行程

压接行程是指连接器从预装到 PCB 上高度到压入 PCB 孔内在 Z 轴方向上的距离，即两者的高度差。该参数属于调试属性的工艺参数，保证在压接行程内压接到位，不出现过压问题。

(7) 压接速度

压接速度是指连接器在一定的时间内完成压接行程。该参数属于调试属性的工艺参数，保证在合适的压力速度内连接器压入孔内，且不发生质量问题。确保不出现过快压接速度，导致连接器压坏。

(8) 保压时间

保压时间是指在压接过程中，当引脚最大尺寸部分进入 PCB 孔内时，保持该压力的停留时间。该参数属于调试属性的工艺参数，确保长度较短或材质强度较低的引脚压入孔内，不发生跪针问题。

3. 工艺参数的调制

具体的产品所需设备调制的工艺参数，可参考具体的设备作业指导书。

10.5 压接工艺过程控制

10.5.1 压接工艺过程控制的意义

压接工艺过程控制对确保压接连接质量的重要性是由压接连接的特点决定的。

① 压接连接件必须经压接才能形成，其质量必然和压接全过程有关，全过程中的任何失误都会影响到压接连接件的质量。

② 压接操作过程具有“一压定质量”的特点，过程中不能测量和再加工，不能返修。

③ 作为压接产品的压接连接件，它们的真实质量状况是无法知晓的，因为压接连接的主要技术指标是耐拉力，这是一项破坏性试验，不可能在正式产品上进行试验，只能通过相同工艺条件下压接的试样来间接测得。

因此，压接连接的质量必须并且也只有通过确保压接全过程的正确性来保证，并通过验证压接全过程的正确性来证明压接连接的质量是否合格。

10.5.2 常见压接不良

1. 压接不良

压接不良主要有以下几种。



① 跪针，由于连接器放置不到位、插针歪斜、下压过快、压力方向不垂直等原因造成。如图 10.21 所示。

② 未压接到位，由于压力或位置参数错误等原因造成，如图 10.22 所示。

③ 连接器外壳或引脚变形，为压力过大或工装错误等原因造成，如图 10.23 所示。

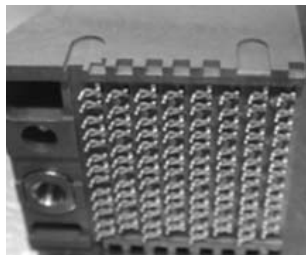


图 10.21 跪针不良

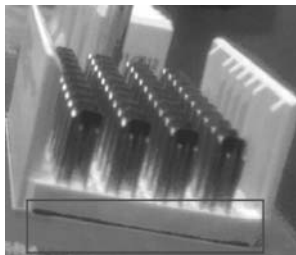


图 10.22 未压接到位

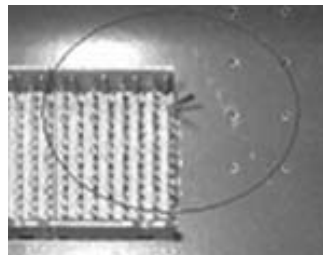


图 10.23 连接器外壳或引脚变形

④ 其他压接不良，可参考 IPC-A-610《电子组件的可接收性》中关于压接部分的内容。

2. 压接不良的检查方法

压接不良的检查方法主要有目检、放大镜、X-Ray、工装、塞规等。

① 目检：通过目视检查的方式，可检查压接元器件的外形是否破损和变形、是否压接到位等。

② 放大镜：使用放大镜对压接元器件疑似故障位置进行检查。

③ X-Ray：将压接后的单板放入 X-Ray 设备中检查，可检查出单板是否有内部跪针等目视无法检查的压接不良。

④ 工装：将压接后的单板放入专制的检查工装，部分检查工装可能会进行电性能检查。

⑤ 塞规：用于检查压接 PCB 孔径是否符合 PCB 设计要求。

10.5.3 压接工艺过程控制

连接器和 PCB 金属化通孔压接过程大致可分为插针接触 PCB、连接器金属化通孔（鱼眼孔）变形、连接器底部接触 PCB，如图 10.24 所示。

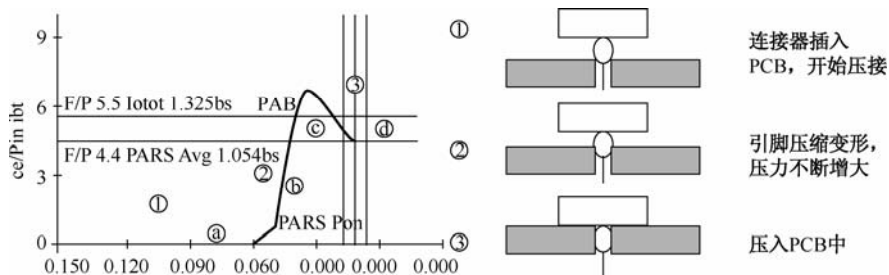


图 10.24 连接器和 PCB 金属化通孔压接过程

压接过程的要求及可能产生的不良问题如表 10.3 所示。



表 10.3 压接过程的要求以及不良问题

| 压接过程控制 | 过程要求 | 不良问题 |
|-------------|--|---|
| 插针接触 PCB | 确保连接器准确无误地插入 PCB 对应的压接孔内；方向和位置正确，无歪斜 | 连接器来料插针偏斜，与 PCB 孔不对应，安装位置和方向错误，歪斜 |
| 连接器鱼眼孔变形 | 将连接器以一定速度垂直稳定的下压；压接速度 0.05~0.2inch/s；压力引脚数×每引脚压力范围 | 速度过快或压力过大、连接器歪斜、鱼眼孔变形等导致跪针、焊盘损坏、PCB 开裂、连接器变形等 |
| 连接器底部接触 PCB | 连接器底部与 PCB 缓慢接触后，停止下压；通过位置或压力控制，确保连接器底部与 PCB 接触到位而且压力未超标 | 行程错误，过压或欠压，未安装到位，连接器变形、开裂、不出针等问题 |

根据压接时金属化通孔（鱼眼孔）变形和压力变化，对压接过程分析；如图 10.24 左侧图所示，压力曲线变化分为 4 段：a 为压力 0，b 为压力递增，c 为压力减小，d 为压力骤增。

影响压力的因素有 PCB 的表面平整度、通孔直径、插针尺寸、引脚数量等，此外压接速度和制具精度、定位脚、连接器结构也会影响压接质量。

10.5.4 对压接件的控制

① 采用非标准件时必须经过试验确认可用后再导入使用。

② 压接件基材应为铜或铜合金。如果对压接件没有其他使用要求（如弹性要求等），压接件材料应优选铜。压接件电镀材料应优选锡或锡-铅合金。外接端为插接式的压接件必要时可镀金，坑压式连接器接触件表面必须是电镀金。

③ 应保证压接件压线筒的压线范围与端子线芯尺寸或线芯总尺寸相匹配。






思 考 题

- ① 什么是压接工艺？压接工艺的优点有哪些？
- ② 压接连接的原理是什么？
- ③ 压接的方式有哪些？每种方式所对应的压接设备是什么？
- ④ 压接的工装有哪些？
- ⑤ 压接操作的通用要求有哪些？
- ⑥ 压接工艺过程控制的意义是什么？
- ⑦ 常见的压接不良有哪些？检查压接不良的方法有哪些？

第11章 焊点可靠性测试应知



本章要点

-  概述
-  可靠性的基本概念
-  焊点质量基础
-  焊点可靠性测试方法
-  焊接可靠性评价



11.1 概 述

随着电子技术的发展，人们对电子设备产品也提出了更高的要求。由于设备技术性能和结构要求等方面的提高，可靠性问题愈显突出。如果没有可靠性保证，高性能指标是没有任何意义的，现代用户买产品就是买可靠性，对于产品供应商来说，可靠性就是信誉，就是市场，就是经济效益。从整机来讲，可靠性贯穿于设计、生产、管理中；从部件、元器件的角度来讲，电子元器件的可靠性水平决定了整机的可靠性程度，而电子元器件的焊点连接可靠性是至关重要的。

11.2 可靠性的基本概念

1. 可靠性

产品在规定条件下和规定时间内完成规定功能的能力称为产品的可靠性。（可靠性的概率度量称为可靠度。）

规定的条件：指使用条件、维护条件、环境条件和操作技术等。不同条件下，产品的可靠性不同；规定的条件是比较可靠性高低的条件。

规定的时间：这是可靠性的核心，不谈论时间就无可靠性可言，可靠性是关于时间的质量。例如，火箭发射系统，只要在十分钟内把火箭送上轨道即可；海底电缆，要求在几十年内可靠；家用电器，要有几万小时可靠，顾客也就满意了。

2. 质量

产品的性能技术指标、安全性、环境适应性，表征交货时产品性能、工艺质量与规范要求的符合程度。产品在出厂前的工艺检验、鉴定试验、筛选、良品率，这些结果表示产品的质量情况。

3. 质量与可靠性的区别

质量问题：通过工艺控制解决，如焊接空洞，可通过改善焊接工艺、改进焊接稳定性控制。可靠性问题：通过可靠性设计解决，如参数退化、疲劳失效、热失效，可通过改进设计结构、工艺技术、焊接材料等。

产品的故障时间点：若鉴定未通过，则是设计问题；若鉴定通过而批产检验未通过，则是工艺控制问题；在使用过程中失效，则是可靠性问题。



11.3 焊点质量基础

11.3.1 焊点外观质量

焊点外观质量如图 11.1 所示。

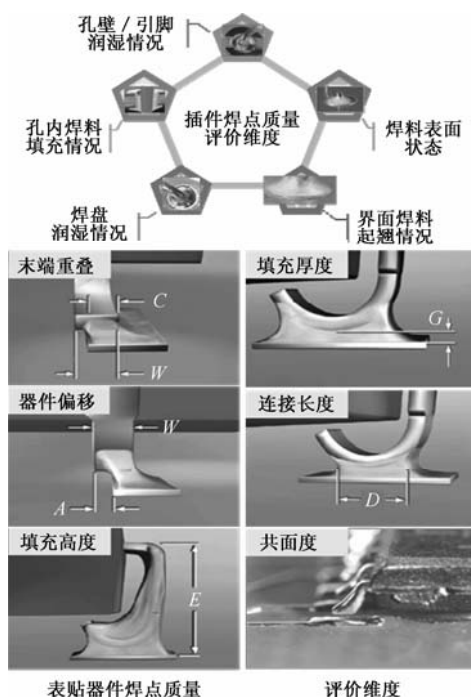


图 11.1 焊点外观质量

11.3.2 焊点内在质量

焊点内部的微观组织及其焊料和基板界面处的 IMC 微观组织决定了焊点的力学性能，而焊接工艺和后续的固相老化以及热循环又决定了原始的微观组织和显微组织的演变。焊点的失效主要由 IMC 决定，不同焊料成分、不同表面处理方式的 IMC 具有不一样的物理特性，如图 11.2 所示。

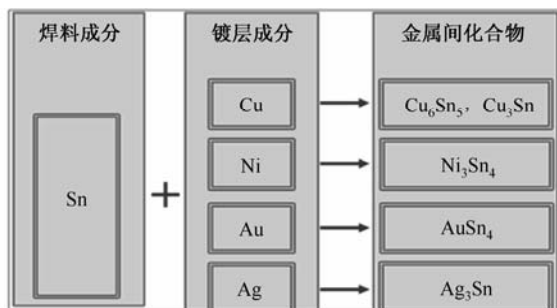
IMC 厚度：如果焊点太热产生的金属键化合物太厚，焊点的机械强度会降低。

机械强度 → 金属键化合物 → 温度 + 时间

根据实验数据和业界经验，SnCu 成分的厚度以 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 为佳，NiSn 成分 IMC 厚度以 $1 \sim 3 \mu\text{m}$ 为佳，如图 11.3 所示。



IMC成分



IMC典型形貌

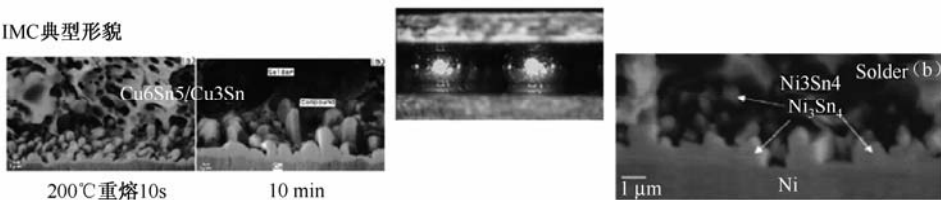
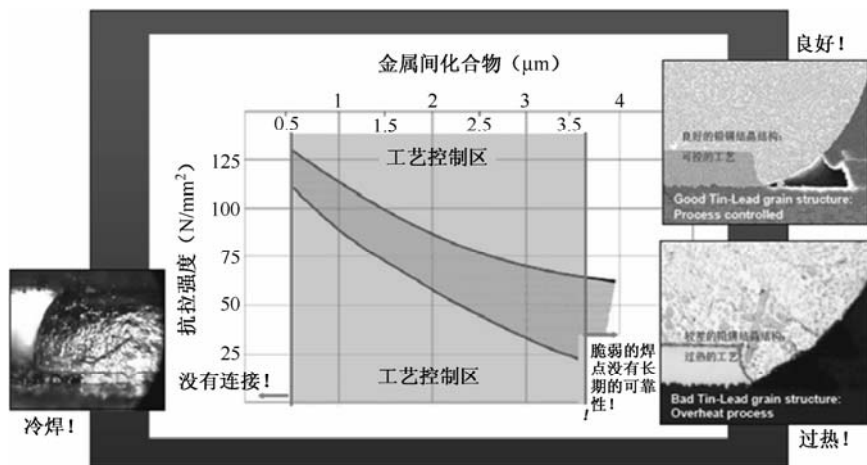


图 11.2 焊点内在形貌



如果焊点过冷，产生金属间化合物太薄，焊点机械强度不够，形成冷焊！

图 11.3 合金层厚度与强度关系

11.3.3 焊点质量鉴别方法

1. 目测检查

目测检查如图 11.4 所示。

- ① 目测与使用放大镜检查目的：对焊点的外观形态、焊接是否润湿、焊接短路、上锡高度、元器件偏移、立碑等现象进行检查，保证产品的焊接良好。
- ② 参考标准：IPC-A-610E《电子组件的可接受性》。
- ③ 主要工具：放大镜。

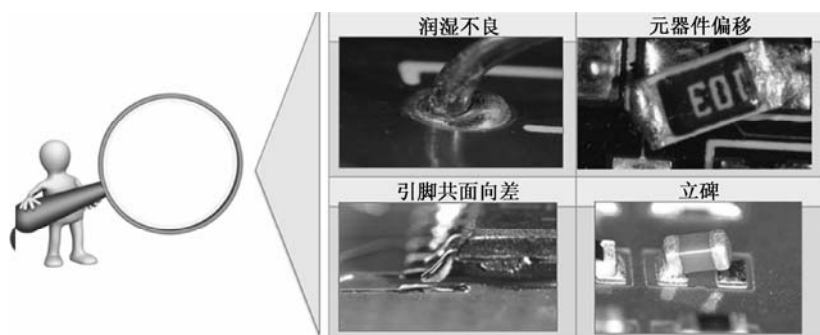


图 11.4 目测检查

2. 外观检查

外观检查如图 11.5 所示。

- ① 焊点外观检查目的：检查焊点润湿角、焊点失效部位、焊点的表面颜色等，对焊点焊接质量进行初步判断。
- ② 参考标准：IPC-A-610E《电子组件的可接受性》。
- ③ 主要工具：金相显微镜、立体显微镜、侧面显微镜等。

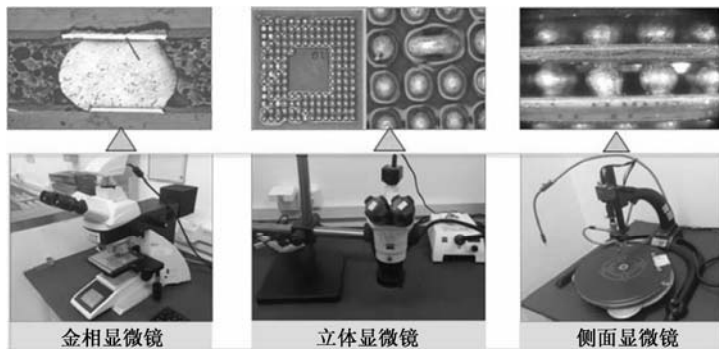


图 11.5 外观检查工具

3. X-Ray 检查

X-Ray 检查如图 11.6 所示。

- ① X-Ray 检查的目的：检查焊点内部缺陷、检查导通孔内部缺陷、对密集封装 BGA/CSP 缺陷焊点定位、对 PCB 缺陷进行检查。
- ② 参考标准：GJB 5488—2005《微电子器件实验方法和程序方法》。
- ③ 主要设备：X 射线检测仪。

4. 金相切片

金相切片如图 11.7 所示。

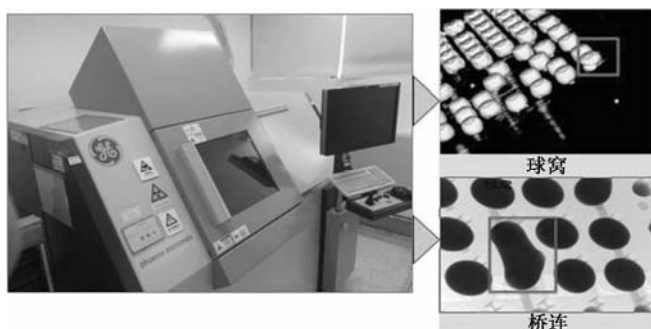


图 11.6 X-Ray 检查

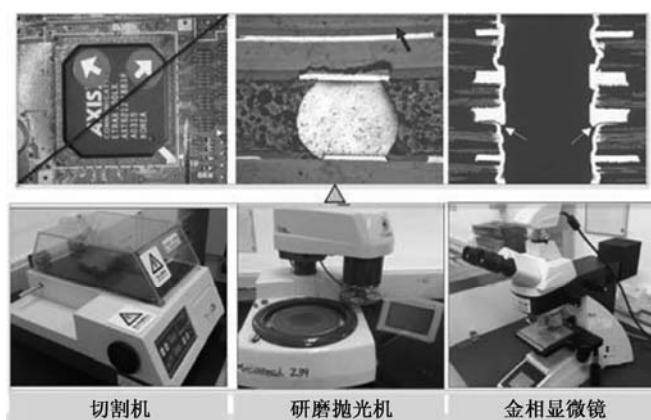


图 11.7 金相切片

- ① 目的：通过对样品进行取样、镶嵌、切片、抛光、研磨等步骤后，观察焊点切面的结构特性。
- ② 参考标准：测试方法手册 IPC-TM-650 2.1.1—2004（E 版本）。
- ③ 仪器设备：取样机（或慢钼）、抛磨机、金相显微镜。
- ④ 材料：环氧树脂、蚀刻液、抛光膏。

5. 染色

染色实验如图 11.8 所示。

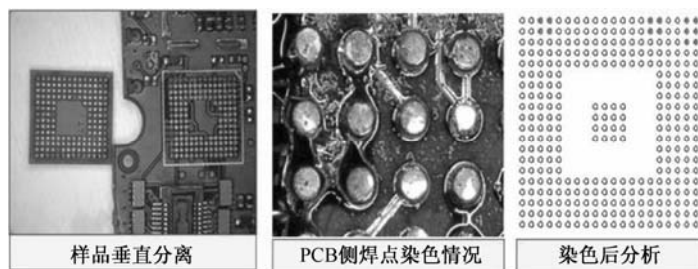


图 11.8 染色实验

- ① 目的：通过对 PCBA 样品进行溶剂清洗、染色、干燥、垂直分离过程，观察元器件



焊点的染色情况，对焊点是否开裂进行判断分析。

② 流程：取样（BGA）→溶剂清洗→染色（加红墨水+低压）→干燥→垂直分离→检查与记录。

11.4 焊点可靠性测试方法

焊点可靠性测试方法：温度循环、温度冲击、高温老化、机械跌落四点弯曲。

11.4.1 温度循环

典型温度循环曲线如图 11.9 所示。

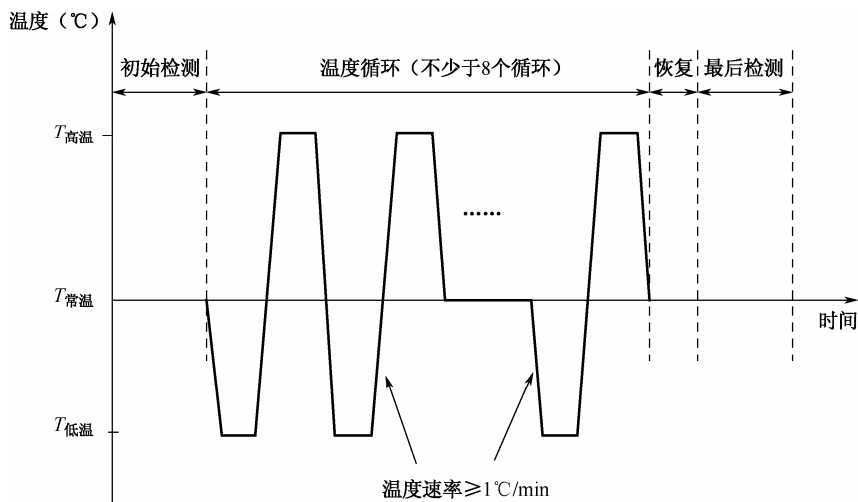


图 11.9 典型温度循环曲线

1. 目的

用于评估焊点在温度昼夜变化环境下焊点的疲劳寿命。

2. 参考标准

IPC-9701 《表面贴装焊料件性能测试方法与鉴定要求》。

3. 失效判断

采用数据记录仪监控菊花链实验样品，在连续 5 个监控扫描中，增加 20% 的额定阻抗。温度循环曲线及信号监控系统如图 11.10 所示。

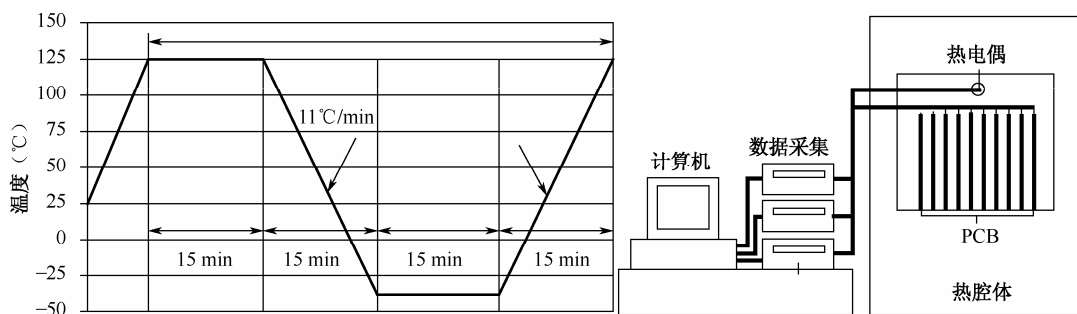


图 11.10 温度循环曲线及信号监控系统

4. 实验关键参数

- ① 最高温度和最低温度。
- ② 高低温保温时间。
- ③ 温度变化率。
- ④ 循环周期。

11.4.2 温度冲击

温度冲击试验箱及两箱式温度冲击曲线如图 11.11 所示。

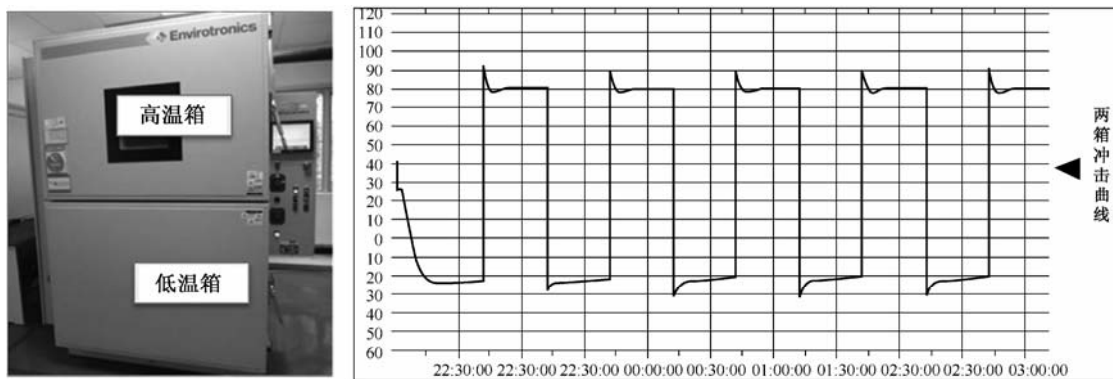


图 11.11 温度冲击试验箱及两箱式温度冲击曲线

1. 目的

评估产品对周围环境温度急剧变化的适应性，在有些情况下也可用于环境应力筛选实验。

2. 参考标准

GB/T 2423.22—2012 《环境实验—第 2 部分：实验方法—实验 N：温度变化》。



3. 失效判断

试验后采用功能测试，测试未通过即可判断单板已失效。

典型温度冲击测试结果如图 11.12 至图 11.14 所示。

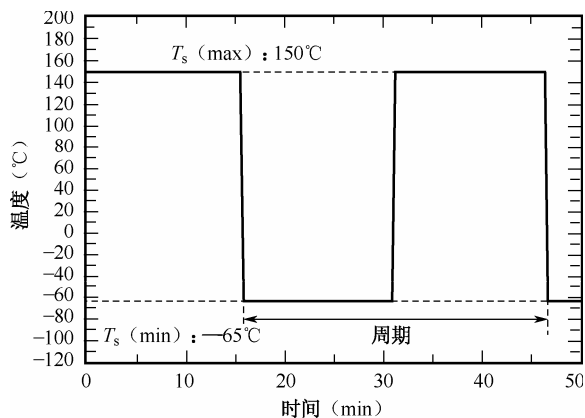


图 11.12 典型温度冲击测试结果

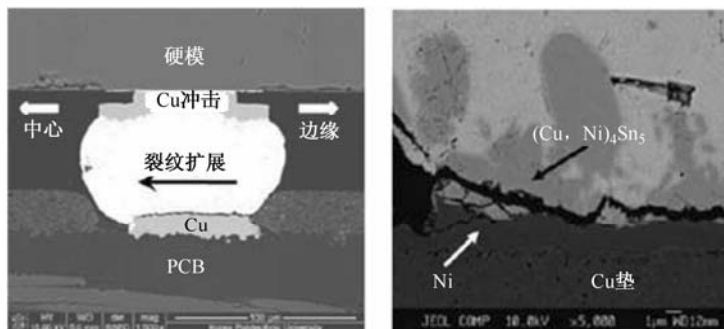


图 11.13 20 个循环的热冲击后，没有进行底部填充的倒装芯片断裂的焊球

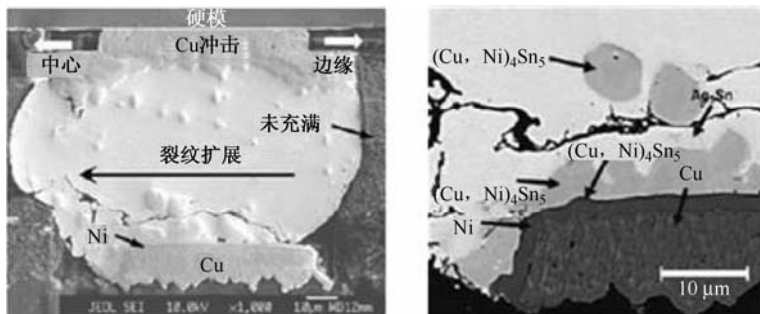


图 11.14 20 个循环的热冲击后，进行了底部填充的倒装芯片焊球

4. 实验关键参数

- ① 最高温度和最低温度。
- ② 高低温度保温时间。



- ③ 高低温转换时间。
- ④ 循环周期。

11.4.3 高温老化

高温老化对合金层的厚度和形状的影响如图 11.15 所示。

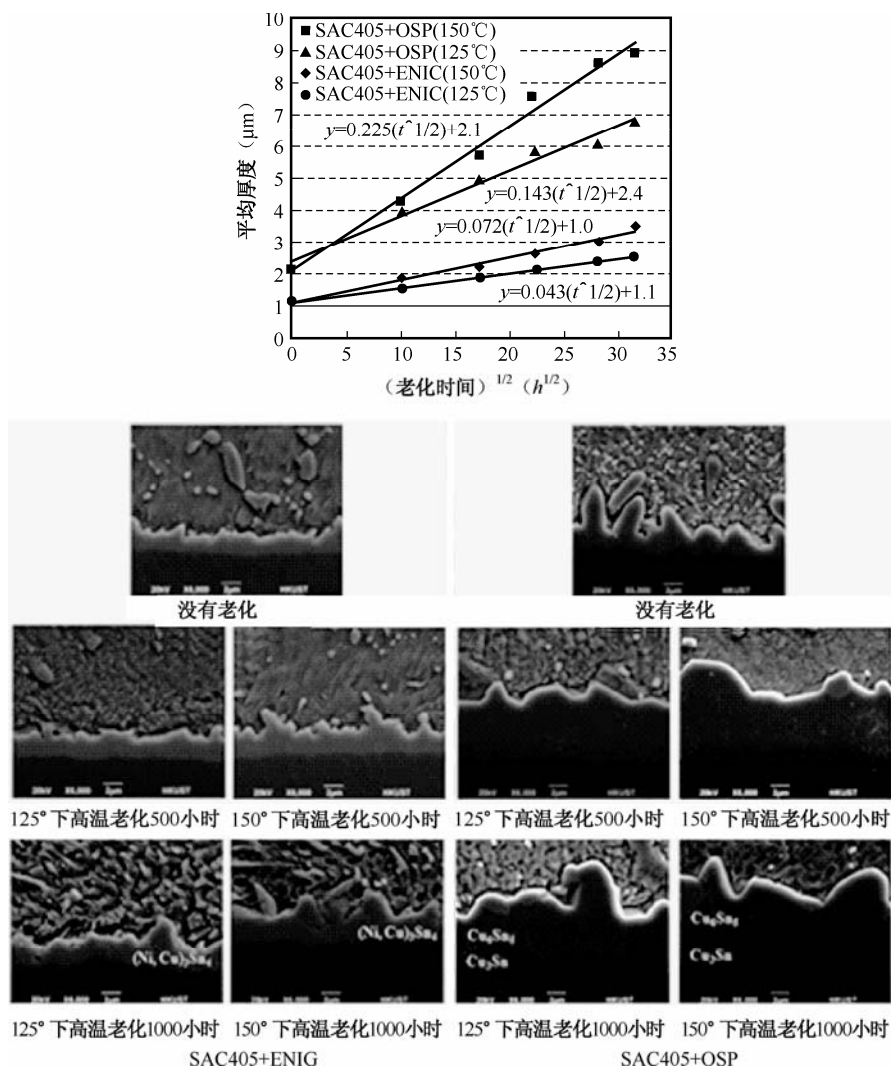


图 11.15 高温老化对合金层的厚度和形态的影响

1. 目的

通过高温老化可以使元器件的缺陷、焊接和装配等生产过程中存在的隐患提前暴露，保证出厂的产品能经得起时间的考验。



2. 参考标准

GB/T2423.2—2008《电工电子产品环境实验 第2部分：实验方法 实验B：高温》。

3. 失效判断

试验后采用功能测试，测试未通过即可判断单板已失效。

恒定湿热常用实验条件如表 11.1 所示。

表 11.1 恒定湿热常用实验条件

| 温度 | 湿度 |
|-----------------------------|-------------------------|
| $(30\pm 2)^{\circ}\text{C}$ | $(93\pm 3)\% \text{RH}$ |
| $(30\pm 2)^{\circ}\text{C}$ | $(85\pm 3)\% \text{RH}$ |
| $(40\pm 2)^{\circ}\text{C}$ | $(93\pm 3)\% \text{RH}$ |
| $(40\pm 2)^{\circ}\text{C}$ | $(85\pm 3)\% \text{RH}$ |

4. 实验关键参数

- ① 老化温度。
- ② 储存时间。

11.4.4 机械跌落

机械跌落如图 11.16 至图 11.18 所示。

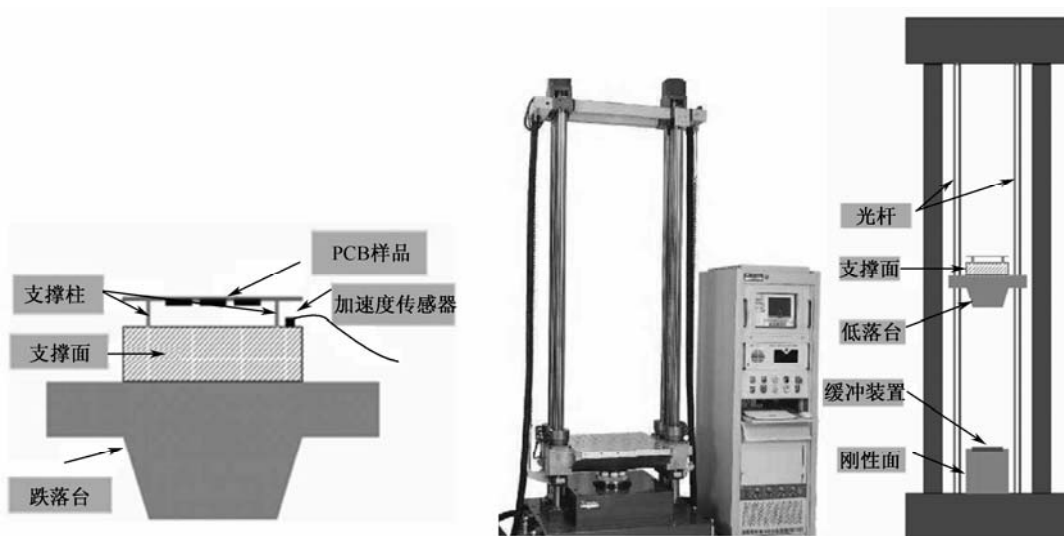


图 11.16 机械冲击设备装置

1. 目的

评估焊点在受到瞬间应力冲击波作用下的结构可靠性。

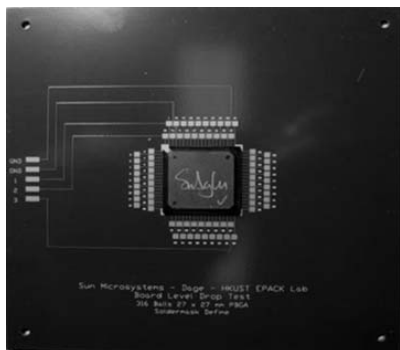


图 11.17 样品菊花链设计

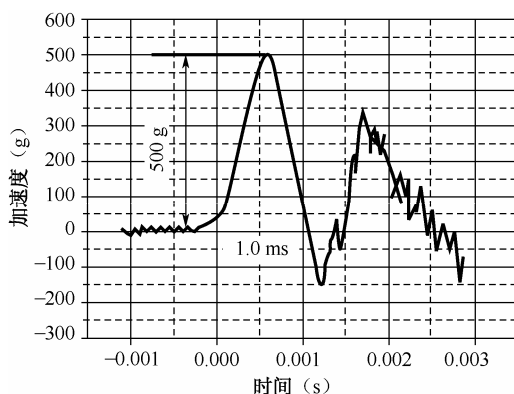


图 11.18 跌落试验测试结果

2. 参考标准

JESD22-B104-C 《机械冲击》，JESD22-B110 《组件机械冲击》。

3. 失效判断

菊花链阻抗监控或切片分析，若出现焊点裂纹即可判断失效。

4. 实验关键参数

- ① 跌落高度。
- ② 速率变化。
- ③ 峰值加速度。
- ④ 加速度波形。

11.4.5 四点弯曲

电阻和应变数据同步监视如图 11.19 所示。

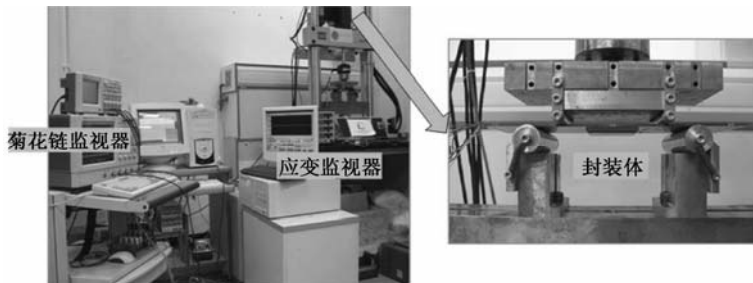


图 11.19 电阻和应变数据同步监视

1. 目的

测试单板在弯曲载荷下的抗机械变形能力，评估不同封装元器件的单次弯曲变形情况下的机械应力可靠性。



2. 参考标准

IPC/IEDEC 9702 《板级弯曲特性》。

3. 失效判断

监控菊花链网络电阻，当阻值增加 20%时判断为失效。

11.5 焊接可靠性评价

焊点可靠性评价的方法是多维度的，因此，在对产品的可靠性进行测试评价前，首先要确定测试的方法，找出产品的薄弱点，这样才能对单板开展有效的可靠性评价。

焊点可靠性评价的基本流程如图 11.20 所示。

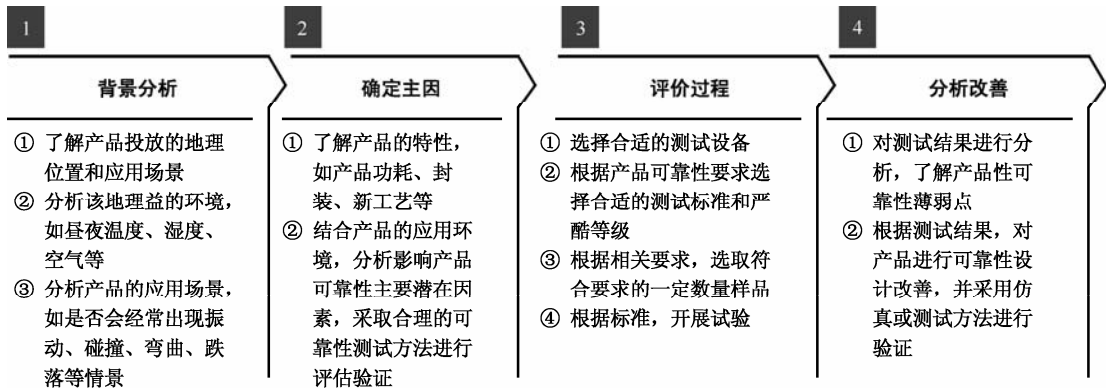


图 11.20 焊点可靠性评价的基本流程




思 考 题

- ① 可靠性的定义是什么？可靠性与质量的区别是什么？
- ② 焊点的外观质量和内在质量的特点和区别分别是什么？
- ③ 焊点质量检查的方法有哪些？各自的特点和作用是什么？
- ④ 焊点的可靠性测试方法有哪些？各自的特点和作用是什么？

第12章 现代电子装联质量管理应知



本章要点

-  电子装联质量管理的内容
-  现代电子装联质量因素的控制
-  生产现场管理



12.1 电子装联质量管理的内容

12.1.1 概述

现代电子装联质量就是根据现代质量管理理念和方法,围绕其质量目标所开展的各种质量活动。现代电子装联质量管理从体系层面上遵循现代质量管理模式,以质量方针和目标为纲,通过对电子装联过程的质量保证、质量控制和质量改进,持续提升质量水平以满足客户期望。

现代电子装联作为一个系统过程,其质量状态既涉及复杂工艺过程,又涉及众多影响因素,产品质量受到整个过程中每个环节和因素的综合影响,预防为主是其质量管理的核心概念,而保证这一理念贯彻的方法就是进行制造过程管理。

12.1.2 质量方针和目标

在 ISO 9000: 2000 中,质量方针是由组织的最高管理者正式发布的该组织总的质量宗旨和方向,它是组织质量文化的旗帜,为组织在质量方面规定了奋斗方向或工作基本准则,引导组织人员竭尽全力促其实现。它是统一和协调企业质量工作的行动指南,也是落实质量管理思想的具体体现。从某种意义上讲,质量方针是一个组织的质量管理理念。

质量方针的制定要以八项质量管理原则为基础,与组织的总的宗旨相适应并保持一致,为制定和评审质量目标提供框架,满足客户要求、法律法规要求、隐含要求、对外部的公开承诺及内部要求,对持续改进质量管理体系有效性进行承诺。

质量方针制定时必须联系组织的实际,方针要具体化,防止口号式、广告式,要有具体实质性内容和含义。作为质量方针,文字应严谨、准确、简练、易于理解,真正成为一个组织质量管理体系的推动力和质量管理工作的座右铭。由于不同的组织经营宗旨不同、产品不同、服务的对象不同、规模不同、员工素质不同、目标框架和承诺的内容不同,因此不同组织应具有不同的质量方针。

质量方针和质量目标是联系在一起的,质量方针提供了制定和评审质量目标的框架,而质量目标则是根据质量方针的要求,组织在一定期间内所要达到的预期效果,即所规定的数量化目标。它是质量方针的具体体现,也是实现宏伟蓝图、远景规划的具体措施,为组织的质量工作设定了奋斗目标。因此,质量目标的制定和执行是组织的一项关键性的工作。

质量目标相应与质量方针保持一致。质量目标应按照组织的质量方针提供的框架来制定,因为目标是质量方针的具体要求,要体现方针的基本宗旨和方向,方针的框架应在质量目标中体现出来。这一要求既明确了目标和方针的关系,也提出了目标制定的原则和要求。而不同层次上建立的质量目标也应与质量方针和总质量目标保持一致。

质量目标应包括满足产品要求所需的内容,并能够测量。质量目标是质量方面所追求的目的,也是评价体系有效性、产品特性的具体指标,应具有可操作性、可测量性。这里的可测量性是指可以进行定性或定量确定,可实施检查、进行比较、通过数据分析实施改进,而



不是空洞的口号。

质量目标应在各相关的职能和层次上加以展开,应在质量管理体系中建立一套质量目标系统,即组织应建立总的质量目标,再进行展开,建立各部门质量目标和各层次质量目标(如决策层、管理层、执行层),其目的是为了有效地实现质量方针,确保体系运行的有效性。质量目标是质量策划的核心内容,也是组织质量管理体系的出发点和终结点,更是评价质量管理体系绩效的基本依据,所以质量目标是质量管理体系的重要组成部分和根本基础。

对于一个产品而言,获得客户满意的主要决定因素是产品特性符合客户期望并且无缺陷。现代电子装联的产品是印制电路板组件(PCBA),其产品特性主要由产品设计所保证,而无缺陷则主要由制造过程来保证。因此,现代电子装联作为一个制造过程,其质量高低的要素是缺陷,质量目标是无缺陷或者零缺陷。根据制造过程的特点和行业惯例,现代电子装联的质量目标衡量指标通常有以下几个。

- ① 直通率。
- ② 焊点不良率。
- ③ 每百万机会缺陷率。

12.1.3 质量保证和质量评估

质量保证是质量管理的一部分,致力于提供质量要求会得到满足的信任。满足质量要求是质量保证的前提,它包括了满足产品的质量要求,也包括了满足过程和管理体系的质量要求。

质量保证的关键是提供信任,提供信任的对象对内可以是管理者,对外可以是客户;提供信任的方法是需要提供能够证实质量要求会得到满足的证据。对内或对外提供产品质量保证文件、过程监控记录、质量手册或认证证书,都可以作为提供信任的方法。质量保证一般有两个方面的含义:一是组织在产品质量方面对用户所做的一种担保,具有“保证书”的含义,这一含义还可以引申为上道工序对下道工序的质量担保;二是组织为了提供信任所开展的一系列质量保证活动,这种活动对内来说是有效的质量控制活动,对外来说是提供依据以证明企业质量管理工作实施的有效性,以达到使人确信其质量的目的。因此,质量保证包括取信于企业领导的内部质量保证和取信于用户的外部质量保证。

质量控制与质量保证有一定的关联性。质量控制是为了达到规定的质量要求所开展的一系列活动,而质量保证是提供客观证据证实已经达到规定质量要求的各项活动,并取得客户和相关方面的信任。因此,有效地实施质量控制是质量保证的基础。

质量评估是对一个组织质量状态的评价。质量评估也包含两个方面:一是对产品质量进行认定;二是对组织质量保证活动的评估,通过评估发现的问题并加以完善,向客户传达质量管理活动的有效性。质量评估结果是质量保证效果的一个具体体现。

12.1.4 质量控制

质量控制主要是为了达到质量目标和防止发生不利的变化。质量控制作为质量管理的一部分,是致力于满足质量要求,对质量形成的过程进行监视、检测,并排除过程中影响质量



的各种原因,以达到要求所采取的活动。

质量控制过程是一个反馈环,它包括以下步骤。

- ① 针对某个要控制的过程确定测量手段。
- ② 对实际过程进行测试。
- ③ 确定绩效标准。
- ④ 将过程测量结果与目标进行比较,得出结论。
- ⑤ 根据比较的结论,采取控制措施对过程进行控制。

对电子装联这样的制造过程来说,质量控制的对象是影响产品质量的人、机、料、法、环五大因素,对这些因素在制造过程中建立测量系统及标准,再将实际测量的结果与标准对比,就可以发现问题,控制这些因素的波动,使制造过程产品保持在符合要求的范围内。

12.1.5 质量改进

通常质量问题分为偶发性质量问题和系统性质量问题。

偶发性质量问题又称急性的、短期的质量问题,是指生产现场突然出现质量失控状态,致使产品质量恶化,因而需要通过治疗使之恢复原状。由于偶然性质量问题的原因明显,对产品的影响大,因此这类问题比较容易受到重视,常常是以强有力的措施,迅速地进行恢复原状的补救。这种补救方法为“救火式”的应急措施。这个过程是质量控制的内容之一。

系统性质量问题又称慢性的、长期的质量问题,是一种长期存在的不良状态,需要通过诊治使之改变原状。系统性质量问题的原因不明,长期存在但不易被人重视,并认为是可避免的。诊治这种“慢性病”需要一个过程,这个过程就是质量改进。

质量改进是提升制造过程质量保证能力和质量水平的重要手段。现代电子装联质量改进遵循质量改进基本方法,典型的方法有以下几种。

1. PDCA(戴明环)法

PDCA 循环是由美国戴明博士提出来的,它反映了质量管理活动的规律。PDCA 循环包括四项内容,即 Plan(计划)、Do(实施)、Check(检查)、Action(处置),它们是从从事持续改进(改善)所应遵行的基本步骤。计划是指建立改善的目标及行动方案;实施又称执行,是指依照计划推行;检查是指确认是否依计划的进度在实行,以及是否达成预定的计划;处置是指新作业程序的实施及标准化,以防止原来的问题再次发生,或设定新的改进目标。

戴明环是质量管理在方法上的一个重要发展。它与数理统计的结合,使质量管理更加条理化、系统化。PDCA 循环的转动过程就是质量管理活动开展和提高的过程,也是企业生产活动的过程。戴明环的转动不是自发的,而是靠组织推动的,是各个组织共同努力的结果。也就是说,整个企业都按 PDCA 进行循环,每个科室、车间、工段、班组都要按企业总的目标、计划制定本部门的 PDCA 循环。形成大循环套小循环、互相推动、互相促进、阶梯式上升的局面,使企业不断向前发展。

2. 逐个项目法

逐个项目法是由质量管理大师朱兰提出的,当时被看作是质量改进的“突破次序”。该



方法包含以下 5 个步骤。

- ① 核实项目需求和使命陈述。
- ② 分析原因。
- ③ 提出治疗的方法并证实方法的有效性。
- ④ 消除变革的阻力。
- ⑤ 建立控制手段来保持所取得的成果。

3.6 西格玛法

6 西格玛方法最早由摩托罗拉公司 (Motorola) 提出, 后来由于通用电气公司 (GE) 的积极推行, 并取得市场价值第一的卓越业绩, 6 西格玛管理的理论逐渐完善, 并且在实践中不断推广。该方法的改进步骤为 D、M、A、I、C, 即定义 (Define)、测量 (Measure)、分析 (Analyze)、改进 (Improvement)、控制 (Control)。

12.2 现代电子装联质量因素的控制

12.2.1 概述

现代电子装联是根据电路设计要求, 将多个元器件安装在印制电路板等电路基板上, 从而形成板卡级的电路模块或功能组件的过程。它是以表面组装技术为主, 又包含部分通孔插装技术的制造过程。

在电子装联过程中, 产品质量受到人 (Man)、机 (Machine, 机器)、料 (Material, 材料)、法 (Methods, 方法)、环 (Environment, 环境) 五大因素的影响, 它们的质量状态将传递表现为电子装联的质量状况。

- ① 人: 有资格能胜任工作的人员 (包括人员对质量的认识、技术熟练程度、身体状况等)。
- ② 机: 必需的机器设备 (包括设备、测试仪器、制造工装的精度和维护保养状况等)。
- ③ 料: 能保证合格质量的必要物料 (包括元器件、PCB、工艺材料的成分、物理性能、化学性能、工艺性能等)。
- ④ 法: 质量形成过程中质量作业文件 (包括制造工艺、制造工装选择、操作规程、测量方法等)。
- ⑤ 环: 合适的生产环境 (包括工作地的温度、湿度、照明和清洁条件等)。

基于现代电子装联的特点, 对质量影响因素的控制是其质量管理的核心内容, 目的就是通过控制在诸多质量影响因素下制造过程产生的波动, 使制造过程产出保持在符合要求的范围内。

12.2.2 人员的管理

现代电子装联与其他制造过程一样, 人的因素始终是影响质量的最关键因素。在人、机、料、法、环五大因素中, 机由人控制, 料由人管理, 法由人创建, 环由人治理, 人在其中占



据着主导地位,因此人的因素成为最活跃、最重要的因素,人的素质以及对人的管理是过程质量乃至产品质量的基本保证。

人是最关键的因素,也是最不稳定的因素。现代电子装联过程是集多种技术于一体的制造过程,涉及印刷、贴片、焊接等多道关键工序,操作人员的态度、技能、身体/心理状态等都直接影响质量。根据研究发现,一般由操作人员造成误操作的主要原因有质量意识差、操作时粗心大意、不遵守操作规程、操作技能低、技术不熟练以及由于工作简单重复而产生厌烦情绪等。

质量管理以人性化为主,一方面从技术层面上化解人性的弱点,另一方面强调通过对人的管理减少问题的产生。后者主要的管理措施是严把上岗关,加强培训,提高人员素质和技能,通过对人的激励和授权调动人的主动性和积极性。

1. 岗位资质

岗位是指某一段时间内,有一人承担若干项任务并具有一定职务、责任和权力。对于现代电子装联过程来讲,岗位通常指工序岗位,对工序岗位的要求主要是技能要求。人员管理的首要原则是符合岗位要求的人员才能上岗工作。现代电子装联所涉及的人员通常有四类:现场操作人员、现场管理人员、工艺人员和设计人员。

2. 培训

组织的质量能力不仅取决于技术能力、组织能力和生产能力,而且更多地取决于人员技能和素质。培训是提高人员素质和技能的一条有效途径。通过培训,可以增强人员的质量意识,提高人员的业务素质和专业技能,最终保证产品质量。

12.2.3 设备的管理

设备是现场作业的重要工具,也是生产的基本要素之一,更是提高生产效率和质量的重要保证。同时设备还是消除人的因素对质量影响的重要手段,即尽可能采用先进的工具和设备替代人的操作,来消除人的弱点对质量的影响。

现代电子装联是一门非常依赖设备的技术,随着封装和组装技术的快速发展,设备复杂程度不断提高,设备对电子装联质量的影响日益增强。在现在电子装联中,设备是一个广义的概念。它既指生产加工的设备,如印刷机、贴片机、回流炉等,也指测试设备,如AOI等,还包括了工装。设备管理通常包括设备选型和维护,目的是保证满足生产的需要。

1. 设备的选择

设备的选择是一个复杂和技术难度很高的工作,需要考虑诸多的设备评估因素。为了确保科学性和准确性,一定要有一套科学的设备选择方法。通常选择设备具有如下过程。

① 制定生产模式,详细了解生产特性,包括产品设计、各产品产能需求、生产批量特性、生产策略、生产排产等方面的综合因素,确保所选择的设备能够符合要求。

② 制定宏观需求。确保全面考虑需求而不只关注技术方面,即要考虑包括投资预算、



财务折旧、自动化程度、工艺和质量水平、产能要求等因素，以提供生产线的设计依据。

③ 分析经济效益。从设备寿命和制定设备合理折旧日期开始，综合生产策略、市场销售预测、设计和制造成本预算，以及对内外加工的比较来评估设备的效益，以决定是否要自己加工、确定投资目标、内外加工比例和产能需求。

④ 制定微观需求。根据生产模式和目标指定技术要求指标、采用的工艺以及各个工艺工序的技术要求，指标可分为 4 类：目前必需、目前希望、将来必需、将来希望。评估一般可以考虑设备的功能、可操作性、可靠性、灵活性、生产效率、可维护性、安全性、可扩张性、经济性等 9 个方面。

⑤ 设计初步生产线。决定生产线支持的工艺路线、各工序的关键功能、性能和自动化程度等因素。

⑥ 评估选择供应商。设备引入和管理离不开与供应商的协助合作，选择设备时需要考虑供应商的整体情况，即除了设备本身之外，还要考虑供应商的发展方向以及长期合作的意愿和能力。

⑦ 进行详细的技术指标评估。通过与供应商的交流，详细进行设备技术指标的研究和评估。

⑧ 进行详细设计并制定技术指标。确定设备的详细技术指标。

⑨ 进行性能认证。进行关键设备特性的认证。认证的方式可要求供应商提供详细测试方法和结论，或使用样机实验，或到其他单位进行考察、试用等。

⑩ 制定宏观维护计划，更好地评估设备可维护性和维护成本。

⑪ 进行生产线设计和经济效益确认。再次对整个生产线的设计及配置进行经济效益确定。

⑫ 进行商务谈判并制定合约。最终的商务谈判包括一切采购物件以及支援、合作合约。

选择设备时有两个重要的方面需要关注。一是工艺质量方面，其关键是分清工艺和设备的特性和参数。首先要明确工艺要求，在从工艺要求中推出哪些设备特性参数会影响工艺特性，明确如何设置和控制这些设备特性参数，设置和控制到什么指标上就可以确保良好的工艺。二是生产效率方面，其关键是设备配置必须符合产品和生产模式的特性要求。

2. 设备的维护

设备的维护对于现代电子装联而言非常重要，适当的工具和科学的维护方法，可以延长设备的使用寿命，保证设备长期保持良好的性能和精度状态，减少修理次数和费用，减少备件和元器件的损耗，提高生产质量和效率，避免设备带来的安全事故和对环境的影响。

3. 设备的点检

设备的点检是为了维护设备所规定的机能，按照一定的规范或标准，通过直观或检测工具，对影响设备正常运行的一些关键部位的外观、性能、状态与精度进行制度化、规范化的检测。

4. 工装的管理

工装的管理需要关注的设计、制造和验证活动，明确工作维护设施与人员，建立对工装



的储存、修复、准备、更换、变更、调整、状态及工装文件的控制机制。

对于工装来讲,预防维护更换期对于预防故障的发生和质量问题的出现起着决定性的作用,为了正确确定其维护更换期,工装耗损期的监测和分析就显得很重要。通常工装耗损分析方法有以下几种。

(1) 直接观察法

直接观察法是指凭人的感官或检测仪来直接判断故障是否即将发生。它可以通过定期观察来发现,观察间隔频率应随着潜在故障劣化程度的升高而增加。当劣化程度达到规定标准时就应及时进行更换。直接观察法的对象可以是工装本身,也可以是使用工装生产的产品。这种方法是既可靠又最经济的方法,当条件具备时应尽可能采用。

(2) 故障征候鉴别法

故障征候鉴别法是另一种潜在故障的直接判断方法。故障征候是故障发生前的先兆,当将这种故障征候与预测耗损寿命结合起来时,即可进行比较准确的判断。

(3) 寿命统计特性判断法

寿命统计特性判断法是一种分析的判断方法,它依靠对有关部件使用寿命数据的积累,来求得这一部件的寿命统计特性,从而求出部件的预防维护期与故障发生风险之间的定量关系。

12.2.4 材料的管理

材料是制造过程中最根本和基础的构成要素,其质量的好坏和是否满足要求,直接影响最终产品的质量。在现代电子装联中,材料同样是一个广义的概念,它既包括元器件、PCB这类加工材料,也包括焊膏、焊剂这类工艺材料。统计数据表明,许多电子装联质量问题往往是由于所用材料的物理、化学性能存在缺陷造成的。因此,材料质量管理是保证现代电子装联质量的基础。

材料管理的主要内容是根据实际需要提出适合的材料要求,依据材料要求把来料检验关,规范进行材料储运以及对供应商的管理。

1. 材料的要求

现代电子装联材料包括元器件、PCB、焊膏、焊剂等工艺材料,对这些材料的要求主要有元器件的可焊性、引线共面性、耐热性、使用性能,PCB的尺寸与外观、阻焊膜质量、翘曲与扭曲、可焊性、阻焊膜完整性,锡膏的金属百分比、黏度、粉末氧化均量,焊料的金属污染量,助焊剂的活性、浓度等。目前可遵循的相关标准已开始逐步完善。

2. 材料的检验

有合格的材料才能有合格的产品,因此材料检验是保障产品可靠性的重要环节,它不仅



是保证电子装联质量的基础,也是保证产品可靠性的基础。随着现代电子装联技术的发展和电子装联密度、性能、可靠性要求的不断提高,现代电子装联对材料质量的敏感度和依赖性都在加大,材料检验称为电子装联质量控制的重要手段。

材料质量检验分为入库检验和出库使用前检验。入库检验的主要目的是根据订货合同和相关材料性能指标约定,通过检测判断材料合格与否。出库使用前检验的主要目的是根据材料的使用性能要求,对已经库存一段时间的材料进行是否超过储存期、是否有质量变异情况发生等方面的质量问题进行检测和鉴别。

材料检验方法包括感官检验、器具检验和实用性检验三类。感官检验是指利用人的感官作为测试工具对材料质量进行评价的检验,主要用于对产品的外形、颜色、伤痕、气味等直观的外观内容的定性检验。器具检验是指利用仪器、量具、检验设备等检测工具,应用物理或化学方法对产品质量特性进行的检测。

3. 材料的储运

在企业内部物流过程中,把成品交付到预定的地点期间,应对材料的符合性提供以下防护。

- ① 储运过程的防护性标志明晰,以利执行。
- ② 根据材料特点、使用要求、搬运方式和储存要求,采用适宜的包装材料和方法进行包装,以防止搬运和储存时受损。
- ③ 对外露部分可能的伤害采取预防性措施,对易燃、易爆、有毒、有害物质和对人、对环境安全有影响的材料,制定严格的保护控制程序。
- ④ 仓库条件符合材料储存环境要求,材料储存按照产品标志、防护要求或保护标志,提供适宜的储存场所,标志清楚、完好,材料码放整齐,便于查找。
- ⑤ 定期检查库存材料情况,检查库存材料的周期。
- ⑥ 确保材料先进先出,减少超过储存有效期的风险,提高库存周转率。

12.2.5 工艺的管理

表面组装和通孔插装是现代电子装联主要的两个技术性很高的制造过程,这两个制造过程质量的高低直接影响作为过程产品的印制电路板组件质量的高低,而这两个过程的实施又都是按照工艺要求来组织的。因此,从过程角度看,产品的制造过程也就是产品的制造工艺过程,工艺是保证现代电子装联质量的基础。从技术角度看,工艺是指导、组织制造的技术依据,是产品制造的技术手段,工艺是保证现代电子装联质量的手段。工序是形成工艺过程的基本环节,工序质量的总和构成了整个工艺过程的质量,从而决定了制造产品的质量。因此,工序质量是工艺管理的核心。对于现代电子装联过程而言,质量管理在某种程度上就是工艺管理,加强工艺管理成为提高现代电子装联质量的前提。

1. 关键工序

关键工序是指对产品质量起决定性作用的工序,它主要是质量特性形成的工序,也是生产过程中需要严密控制的工序。



关键工序质量控制的基本要求是实施全过程的控制，其要点如下。

- ① 生产现场使用的技术文件必须是现行有效的文件，并要做到正确、完整、统一、清晰、文实相符。
- ② 转入工序的器材、元器件必须具有合格证明文件或标志，代用器材、元器件必须具有按规定办理的审批文件。
- ③ 工序使用的设备、工装、计量器具等必须符合工艺规范的要求，并具有有效期内的合格证书或合格标志。
- ④ 操作、检验人员必须熟悉和掌握工序的技术要求，具备岗位资质要求，并严格遵守工艺纪律。
- ⑤ 工作场地的环境条件，产品存放、周转、运输等控制都应符合技术文件要求和有关规章制度及标准的规定。

2. 工艺流程与工艺文件

通常，工艺流程就是产品的制造过程。一个好的产品的生产绝不能随心所欲，必须按照一定的规范标准来实施。这一规范标准就称为工艺。好的工艺能够充分保证产品的质量，提高工作的效率。

工艺文件是描述工艺流程的规范化文档，其形式包括工艺规程、工艺卡、工艺过程卡和工序卡等。

- ① 工艺规程。工艺规程是通用的某类工艺过程，它是编写某类工艺文件的指导性技术文件，一般有行业标准或企业标准。
- ② 工艺过程卡。工艺过程卡是规定工序顺序的文件，它将一个工艺过程分解为若干个子过程（工序），用来指导安排生产计划、调度。
- ③ 工艺卡。工艺卡详细规定工艺的具体技术要求、所用设备和工装、应控制的工艺参数及操作注意事项，规定了完整工艺过程和对各工序的要求。
- ④ 工序卡。工序卡规定了某个工序的操作要求，即“一序一卡”，常伴有图示。

当工艺初次应用，设计、材料、工艺方法和使用设备等有更改时，需要对工艺流程和方法进行验证。验证的目的是确保生产条件能够保证生产出符合要求的产品，获取高质量、高效率的生产工艺条件。首件验证是一种常用的方式，需要建立验证流程，验证时需要具有验证作业指导书。

3. 工艺纪律

工艺纪律是在生产过程中有关人员应该遵守的工艺秩序，是企业为维护工艺的严肃性、保证工艺的贯彻执行、建立稳定的生产秩序、确保产品加工质量和生产安全而制定的某些具有约束性的规定。工序操作人员必须执行工艺，否则就难以满足质量要求。作为操作者，只有按规定的工艺方法作业的义务，没有不执行的权利。即使工艺方法存在问题，操作者也只有提出义务。为此，必须加强工艺纪律的管理，定期或不定期地进行监督和检查，同时设立工艺文件要求不当的反馈机制。



4. 过程监控

进行制造过程监控是为了判断过程是否有能力确保其输出符合质量要求,一方面要适时提供过程运行的信息,另一方面要及时采取措施,确保过程受控,以免出现不可接受的不合格状态。过程监控的方式通常有以下几种。

① 监视。当过程难以用参数表达和测量,或为深入探究过程时,一般只能采取监视的方法,如评审、按控制计划检查、质量体系内部审核过程审核等,这种监视只能定性。

② 测量。当过程可以用参数表达时,适当采取测量过程的参数及其变化规律的方法,可以保证过程输出的符合性。例如,对再流焊炉进行温度测量。

③ 控制。当过程运行异常,出现偏离预期目标的趋势时,需要采取措施加以控制,进行调整或自动反馈补偿等。

过程监控需要保证适时性和可操作性,立足现场,重在识别异常。监控应能够随时反映出过程的状况,所采取的监控方法具有可操作性,应在生产现场或准现场实施,专注于是否出现异常情况。

对工序产品进行检验是过程监控的一个重要手段。工序检验的目的在于尽早发现工序中的不合格品,尽早采取措施,防止它流入下一道工序,避免造成后续的损失。工序检验必须严格遵从检验文件的规定,工序检验人员的素质和责任心要强,不合格品例外放行要经过批准。

工序检验的方式通常有以下几种。

① 首(末)件检验。首件检验是指对每天、每班、每批生产件的第一件产品或设备、工装发生变化后的第一件产品进行全面的重要特性检验,确保首件为合格品,以免引起批量质量报废。这种检验一般由操作人员进行并标识,然后由专检人员复验。

② 自检。自检是指操作人员在完成工序作业后,对所制造的产品进行检查。

③ 互检。互检是指下道工序操作人员对于前道工序的输出半成品是否符合本工序的输入要求所做的检查。

④ 巡检。巡检是指检验员按一定频度和数量对本班生产的各工序产品进行巡回抽查。

⑤ 放行检验。放行检验是指当产品形成了一个检验批,通过全数或抽样检验,按检验文件规定的批量判定规则,确定该批产品可放行的检验。

12.2.6 环境的管理

工作环境是工作时所处的一组条件,包括物理(热、光、电、气等)环境、社会(法律、法规和社会对工作条件的认知等)环境、心理(良好的工作气氛等)环境和外部环境(温度、湿度、空气清洁度、噪声等)。这些条件的提出可确保产品符合所需的要求,同时工作人员的人身安全和健康也能得到保障。环境管理的关键是确保环境要求,维护现场状态。

现代电子装联设备是高精度的机电一体化设备,涉及多种类型的材料,设备和工艺材料对环境的清洁度、湿度、温度都有一定的要求,为了保证设备正常运行和组装质量,对工作环境有以下要求。

① 工作环境必须把安全生产放在第一位。由于电子装联设备一般采用连线安装的方式,



因此生产线的长度较长。

② 生产现场配备的动力电源应是充裕而安全的。电子装联设备一般使用压缩空气和电源动力作为双重动力，对气-电的配合要求较为严格。再流焊机、波峰焊机均是大用电量设备，要充分考虑它们的启动、关机对其他用电设备所造成的冲击。电力配置系统采用三相五线制是最为安全的。电网供电质量不高将可能对生产设备造成损坏，在一些电网电压波动较为严重的地区，应当为设备装备交流稳压电源，在设备电源接线时应注意三相电源负荷的均衡性。

③ 电子装联设备要求使用清洁而干燥的压缩空气。作为动力源的压缩空气不仅应当在压力、流量等参数上满足设备的技术要求，而且应在进入机器之前将气体中所含有的水汽、油、灰尘以及其他杂质滤除干净。

④ 电子装联设备在运行时会产生一定幅度的振动，尤其是大型高速贴装时，对厂房引起的振动更为明显。

⑤ 明亮整洁的厂房有助于员工全神贯注的工作，也助于保证生产质量。

⑥ 在电子装联过程中，需要使用无水乙醇、助焊剂等一类溶剂和其他一些易燃物品，在生产区和库房的防火安全是必需的。厂房的设计、施工和大型技术改造项目实施，都应当经过消防部门的评审。对贵重物品、元器件的保管和贵重产品的生产，要制定有效的安全管理措施，对生产区也要把安全防盗作为一个很重要的内容加以考虑。

⑦ 静电安全防护的重要性已经被越来越多的人所认识。严格地说，整个电子装联现场应当符合静电安全工作区标准。在生产区域不仅要配备各种必需的静电防护器材，还要对有关人员经常进行静电防护知识的教育，使其自觉遵守静电防护工艺规程。生产和工作场地应设计有良好的接地系统，应采用三相五线接地法并独立接地。厂房地面应具备防静电性能或铺防静电地垫。

⑧ 电子装联现场噪声主要成分为机械噪声，并伴有部分空气动力性噪声，因此大多可采用隔声、吸声的措施进行降噪处理。厂房的吊顶采用吸声能力较强的材料，可有利于减少噪声的反射。电子装联大部分区域的噪声值应控制在 70dB 以内。

⑨ 电磁辐射已被公认为是仅次于水污染、大气污染、噪声污染之后的第四大污染源。过强的电磁辐射将会危害操作人员的身体健康。电子装联设备可能产生的电磁辐射应当满足相关要求，以保证操作人员的人身安全。

⑩ 电子装联现场的空气污染主要来自波峰焊接、再流焊接和手工焊接所产生的烟尘，其主要成分为铅、锡蒸气、氮氧化合物、臭氧以及一氧化碳等有害气体，其中以所含的铅蒸气对人的身体健康危害最大，必须采取有效的措施对车间内的空气进行净化。安装的废气排放系统应具有足够大的排放量，排放标准和排放高度应符合当地环保部门的规定。在一些工位上可以安装烟雾过滤器，将有害气体吸收和过滤。

⑪ 生产活动中产生的废弃物和化学品，如废弃油、机油、酒精以及废弃的锡膏、贴片胶、助焊剂、焊料渣等建议集中收集，由具有此类垃圾处理能力并符合国家环保要求的单位处理，不能随意丢弃。产生的其他可回收利用的废弃物，如 SMD 元器件的包装材料等应分类存放，交由垃圾处理站进行处理。

⑫ 生产现场的工艺布局应当是高效而有序的，物流路线要合理，应与工艺流程保持一致。物流路线要尽可能短，以提高生产和管理的效率。对生产中所涉及的各类物品应分类，



实行定置管理,各工作区、各种物品的存放区要有明显的标识,与生产现场无关的各类物品应坚决清除现场。先进的生产现场应能体现出“生产均衡有序,工艺布局科学,劳动组织合理,岗位责任明确,消除无效劳动”的管理特色。

12.3 生产现场管理

12.3.1 概述

生产现场是从事产品生产、制造或提供生产服务的场所,即劳动者完成一定生产任务的场所。生产现场管理运用科学的管理理念、方法和手段,对生产现场的各生产要素进行合理配置、优化组合,通过计划、组织、控制、协调和激励等管理职能,有效和高效地保证了预定目标的实现。生产现场管理是保证制造过程质量的基础。

生产现场管理的主要任务如下。

- ① 治理生产现场环境,实行定置管理,改变现场脏、乱、差的无序状态,实现人流、物流畅通有序流转,建立文明生产秩序,确保产品质量和提高工作效率。
- ② 以工序管理为突破口,保证工序处于受控状态。
- ③ 生产组织合理化,确保质量和消耗处于受控状态。
- ④ 工作标准化,建立和健全管理标准、技术标准、岗位工作标准并严格执行。
- ⑤ 现场工艺管理,严肃工艺纪律,重视对工艺文件规定不合理、不可操作的内容及时反馈。
- ⑥ 日常设备、工装维护保养。

生产现场管理包括企业各项综合管理、专业管理和基础管理在生产现场层次所有要求实施,它具有基础性、综合性、协同性、实践性、目的性、动态性和群众性的特点。生产现场管理是制造型企业的管理核心内容,是企业管理素质的集中表现,是企业竞争力的关键因素之一。通过生产现场管理的好坏,即可判断出企业员工素质和管理水平、产品质量的可信赖程度和企业可协作程度。良好的生产现场管理能够起到提高效率,提升产量、降低成本、保证质量、预防为主的作用。本节主要介绍定置管理、目视管理、5S 管理这些常用的生产现场管理方法,还介绍对于电子制造非常重要的防静电管理以及一种现场改善的方法。

12.3.2 定置管理

定置管理起源于日本,由日本青木能率研究所的青木龟男始创。他从 20 世纪 50 年代开始,根据日本企业的生产现场管理实践,经过潜心钻研,提出了定置管理这一个新的概念。后来,又由日本企业管理专家清水千里在应用的基础上,把定置管理总结和提炼为一种科学的管理方法,并于 1982 年出版了《定置管理入门》一书。此后,这个科学的方法在日本许多公司得到推广应用,都取得了明显的效果。

定置管理是对生产现场中的人、物、场所三者之间的关系进行科学的分析研究,使之达



到最佳结合状态的一门科学管理方法，它以物在场所的科学定置为前提，以完整的信息系统为媒介，以实现人和物的有效结合为目的，通过对生产现场的整理、整顿，把生产中不需要的物品清除，把需要的物品放在规定位置上，使其随手可得，促使生产现场管理文明化、科学化，达到高效生产、优质生产、安全生产。

1. 定置管理理论

在生产活动中，生产工序的要素有材料、半成品、设备、工装、操作人员、工艺方法、生产环境等，归纳起来就是人、物、场所、信息等因素，其中最基本的是人与物的因素。只有人与物合理结合，才能使生产有效地进行。

人与物结合有以下 3 种状态。

① A 状态：人与物处于能够立即结合并发挥效能的状态。例如，操作者使用的各种工具，由于摆放合理且固定，当操作者需要时，能立即拿到。

② B 状态：人与物处于寻找或尚不能很好发挥效能的状态。例如，操作者需要加工一个零件，由于零件散落在地上，每次都需要弯腰拾捡。

③ C 状态：人与物失去联系的状态，对于与生产已无关的物品，并不需要人与物的结合。例如，报废的设备。

定置管理原则就是要通过相应的策划、设计、控制和改进消除 C 状态，对 B 状态进行分析和改进，使之达到 A 状态并保持。

2. 定置方法

定置管理根据物流运动的规律性，科学地确定物品在场所内的位置。通常有以下两种定置的方法。

① 固定位置：场所固定、物品存放位置固定、物品的信息媒介物固定。这种三固定方法适用于那些在物流系统中周期地回归原地，在下一个生产活动中重复使用的物品，主要是用作加工段的物品。例如，工装需要时取用，使用后返回。

② 自由位置：在相对固定的区域内存放，至于具体位置则视生产情况按一定的规则来存放。这种方法适用于物流体系中那些不回流、不重复使用的物品。例如，半成品按照工艺流程从一个工序流向下一个工序。由于这类物品的种类规格有很多，数量时多时少，很难对每种物品规定具体位置，适合规定一个存放区域，但需要遵守一定规则。例如，划分在制品区、待检验区等，区域内要求间隔摆放。

3. 信息媒介与位置的关系

信息媒介在人与物、物与场所合理结合过程中，起着指导、控制、确认等作用的信息载体。由于生产中使用的物品品种多、规格杂，它们不可能都放置在操作者的手边，如何找到，以及物品如何有序摆放，需要有信息的指导。因此，在定置管理中，完善而准确的信息媒介是很重要的，它影响到人、物、场所的有效结合程度。

① 定置信息可以分为以下两种。

● 引导信息。它告诉人们物在何处，如仓库的物品台账。又如，定置的平面布置图可



形象地指示存放物的位置和处所。

- 确认信息。这是为了避免物品混放和场所误置所需的信息，如状态标识、区域标识等。
- ② 实施定置管理必须重视和健全各种信息媒介物，并使其达到下列要求。
 - 场所标识清晰。
 - 场所设有定置图。
 - 位置台账齐全。
 - 存放物的编号、序号齐备。
 - 信息标准化。

4. 定置管理的推行

推行定置管理可以按照以下 6 个步骤进行。

(1) 进行工艺研究

工艺研究是定置管理开展过程的起点，它是对生产现场的加工方法、机械设备、工艺流程进行详细研究，确定工艺在技术水平上的先进性和经济性上的合理性，分析是否需要和可能用更先进的工艺手段及加工方法，从而确定生产现场产品制造的工艺路线和搬运路线。工艺研究是一个提出问题、分析问题和解决问题的过程，包括以下 3 个步骤。

① 对现场进行调查，详细记录现行方法。通过查阅资料、现场观察，对现行方法进行详细记录，为工艺研究提供基础资料。因此，要求记录详尽、准确。由于现代工业生产工序繁多，操作复杂，若用文字记录现行方法和工艺流程，势必显得冗长烦琐。在调查过程中可运用工业工程中的一些标准符号和图表来记录，这样可一目了然。

② 分析记录的事实，寻找存在的问题。对经过调查记录下来的事实，运用工业工程中的方法研究和时间研究的方法，对现有的工艺流程及搬运路线等进行分析，找出存在的问题及其影响因素，提出改进方向。

③ 拟定改进方案。提出改进方向后，定置管理人员要对新的改进方案做具体的技术经济分析，并和旧的工作方法、工艺流程和搬运线路进行对比。在确认是比较理想的方案之后才可以作为标准化的方法实施。

(2) 对人、物结合的状态进行分析

人、物结合状态分析是开展定置管理中最关键的一个环节。在生产过程中必不可少的是人与物，只有人与物的结合才能进行工作。而工作效果如何，则需要根据人与物的结合状态来定。人与物的结合是定置管理的本质和主体。定置管理要在生产现场实现人、物、场所三者的最佳结合，首先应解决人与物的有效结合问题，这就必须对人、物结合状态进行分析。

在生产现场，人与物的结合有两种形式，即直接结合和间接结合。直接结合是指需要的东西能立即拿到手，不存在由于寻找物品而发生时间耗费。如加工的原材料、半成品就是在自己的岗位周围，工检量具、储存容器就是在自己的工作台上或工作地周围，随手即可。间接结合是指人与物呈分离状态，为使其结合则需要信息媒介的指引。信息媒介的准确可靠程度影响着人与物结合的效果。



(3) 开展对信息流的分析

人与物的结合需要有4个信息媒介物：第1个信息媒介物是位置台账，它表明该物在何处，通过查看位置台账，可以了解所需物品的存放场所；第2个信息媒介物是平面布置图，它表明该处在哪里，在平面布置图上可以看到物品存放场所的具体位置；第3个信息媒介物是场所标志，它表明这里就是该处，它是指物品存放场所的标志，通常用名称、图示、编号等表示；第4个信息媒介物是现货标志，它表明此物即该物，它是物品的自我标志，一般用各种标牌表示，标牌上有货物本身的名称及有关事项。在寻找物品的过程中，人们通过第1个、第2个媒介物，被引导到目的场所，再通过第3个、第4个媒介物来确认需要结合的物品。人与物结合的这4个信息媒介物缺一不可。

建立人与物之间的连接信息，是定置管理的特色。是否按照定置管理的要求，认真地建立、健全连接信息系统，并形成通畅的信息流，有效地引导和控制物流，是推行定置管理成败的关键。

(4) 定置管理设计

定置管理设计就是对各种场地（厂区、车间、仓库）及物品（机台、货架、箱柜、工位器具等）如何科学、合理定置的统筹安排。定置管理设计主要包括定置图设计和信息媒介物设计。

(5) 定置实施

定置实施是理论付诸实践的阶段，也是定置管理工作的重点。它包括以下3个步骤。

① 清除与生产无关的物品。生产现场中凡与生产无关的物品，都要清除干净。清除与生产无关的物品应本着双增双节精神，能转变利用便转变利用，不能转变利用时，可以变卖，化为资金。

② 按定置图实施定置。各车间、部门都应按照定置图的要求，将生产现场、器具等物品进行分类、搬、转、调整并予定位。定置的物品要与图相符，位置要正确，摆放要整齐，储存要有器具。可移动物品，如推车、电动车等也要定置到适当位置。

③ 放置标准信息名牌。放置标准信息名牌要做到牌、物、图相符，设专人管理，不得随意挪动。要以醒目和不妨碍生产操作为原则。总之，定置实施必须做到：有图必有物，有物必有区，有区必挂牌，有牌必分类；按图定置，按类存放，帐（图）物一致。

(6) 定置检查与考核

定置管理的一条重要原则就是持之以恒。只有这样，才能巩固定置成果，并使之不断发展。因此，必须建立定置管理的检查、考核制度、制定检查与考核方法，并按标准进行奖罚，以实现定置管理的长期化、制度化和标准化。

定置管理的检查与考核一般分为两种情况：一是定置后的验收检查，检查不合格的不予通过，必须重新定置，直到合格为止；二是定期对定置管理进行检查与考核，这是要长期进行的工作，它比定置后的验收检查工作更为复杂、更为重要。



12.3.3 目视管理

目视管理是利用形象直观、色彩适宜的各种视觉感知信息来组织现场生产活动,达到提高劳动生产率目的的一种管理方式。它是以视觉信号为基本手段,以公开化为基本原则,尽可能地将管理者的要求和意图让大家都看得见,借以推动自主管理、自我控制。所以目视管理是一种以公开化和视觉显示为特征的管理方式,也可称为看得见的管理。

1. 目视管理优点

目视管理充分发挥了视觉信号显示的特长,是一种符合大生产要求和人生理及心理需求的管理方式,其优点主要如下。

① 形象直观、简单方便、工作效率高。现场管理人员组织指挥生产,实质是在发布各种信息,而操作工人有秩序地进行生产作业,就是接收信息后采取行动的过程。在机器生产条件下,生产系统高速运转,要求信息传递和处理既快又准。如果与每个操作人员有关的信息都要由管理人员直接传达,那么不难想象,拥有成百上千名人员的生产现场,将要配备多少名管理人员。目视管理为解决这个问题找到了简捷之路。它告诉我们,迄今为止,操作人员接受信息最常用的感觉器官是眼、耳神经末梢,其中又以视觉最为普遍。可以发出视觉信号的手段有仪器、电视、信号灯、标识牌、图表等,其特点是形象直观,容易认读和识别,简单方便。在有条件的岗位,充分利用视觉信号显示手段,可以迅速而准确地传递信息,无需管理人员现场指挥即可有效地组织生产。

② 目视管理透明度高,便于现场人员互相监督和促进,发挥激励和协调作用。实行目视管理,对生产作业的各种要求可以做到公开化。干什么、怎样干、干多少、什么时间干、在何处干等问题一目了然,这就有利于人们默契配合、互相监督,使违反劳动纪律的现象不容易隐藏。例如,根据不同车间的工种的特点,按规定穿戴不同的工作服和工作帽,很容易使那些擅离职守、串岗聊天的人处于众目睽睽之下,促其自我约束,逐渐养成良好习惯。又如,有些地方对企业实行了挂牌制度,单位经过考核,按优秀、良好、较差、劣等 4 个等级挂上不同颜色的标志牌;个人经过考核,合格者佩戴不同颜色的臂章,不合格者无标志。这样,目视管理就能起到鼓励先进、鞭策后进的激励作用。总之,大机器生产既要求有严格的管理,又需要培养人们自主管理、自我控制的习惯与能力。目视管理为此提供了有效的具体方式。

③ 有利于科学地改善生产条件 and 环境,产生良好的生理和心理效应。对于改善生产条件和环境,人们往往比较注意从物质技术方面着手,而忽视现场人员的生理、心理和社会特点。

④ 目视化可将复杂问题简化、量化和流程化。对于管理者和操作者来讲,目视管理不仅清晰地告知应该做什么和怎么样做,同时也可迅速地发现问题。

2. 目视管理内容

目视管理以生产现场的人-机系统及其环境为管理对象,应贯穿于这一系统的输入、作业和输出各环节,同时,也要覆盖作业者、作业环境和作业手段,这样目视管理的内容才是完整的。



① 制度公示，规章制度与工作标准的公开化。为了维护统一的组织和严格的纪律，保持大工业生产所要求的连续性、比例性和节奏性，提高劳动生产率，实现安全生产和文明生产，凡是与现场人员密切相关的规章制度、标准、定额等，都需要公布于众；与岗位人员直接有关的，应分别展示在岗位上，如岗位责任制、操作程序图、工艺卡片等，并要始终保持完整、正确和洁净。

② 生产任务与完成情况的公开化和图表化。现场是协作劳动的场所，因此，凡是需要大家共同完成的任务都应公布于众。计划指标要定期层层分解，落实到车间、班组和个人，并列表张贴在墙上；实际完成情况也要相应地按期公布，并用作图法使大家看出各项计划指标完成中出现的問題和发展的趋势，以促使集体和个人都能按质、按量、按期地完成各自的任務。

③ 以清晰、标注化的视觉显示信息落实定置管理。在定置管理中，为了消除物品混放和误置，必须有完善而准确的信息显示，包括标志线、标志牌和标志色。因此，目视管理在这里便自然而然地与定置管理融为一体。按定置管理的要求，采用清晰、标准化的信息显示符号，将各种区域、通道、各种辅助工具（如料架、工具箱、工位器具、生活柜等）用标准颜色标示，不得任意涂抹。

④ 生产作业控制手段的形象直观与使用方便化。为了有效地进行生产作业控制，使每个生产环节、每道工序能严格按照期望标准进行生产，杜绝过量生产、过量储备，要采用与现场工作状况相适应的、简便实用的信息传导信号，以便在后道工序发生故障或由于其他原因停止生产，不需要前道工序供应在制品时，操作人员能看到信号，及时停止投入。

⑤ 物品的码放和运送标准化。现场各种物品的码放和运送实行标准化，可以充分发挥目视管理的长处。例如，各种物品、各类工位器具，包括箱、盒、盘、小车等，均应按规定的标准数量盛装，这样，操作、搬运和检验人员点数时既方便又准确。

⑥ 现场人员着装的统一化与实行挂牌制度。现场人员的着装不仅起劳动保护的作用，在机器生产条件下，也是正规化、标准化的内容之一。它可以体现员工队伍的优良素养，显示企业内部不同单位、工种和职务之间的区别，且还具有一定的心理作用，使人产生归属感、荣誉感、责任心等，对于组织指挥生产，也可以创造一定的方便条件。

⑦ 色彩的标准化。色彩是现场管理中常用的一种视觉信号，目视管理要求科学、合理、巧妙地运用色彩，并实现统一的标准化管埋，不允许随意涂色。但色彩的运用需考虑其受多种因素的制约。

- 技术因素：不同色彩有不同的物理指标，如波长、反射系数等。强光照射的设备，多涂成蓝灰色，是因为其反射系数适度，不会过分刺激眼睛。危险信息多用红色，这既是传统习惯，也是因其反射系数适度，不会过分刺激眼睛。危险信号多用红色，这既是传统习惯，也是因其穿透力强，信号鲜明的缘故。
- 生理和心理因素：不同的色彩会给人以不同的重力感、空间感、冷暖感、软硬感、清洁感等情感效应。
- 社会因素：不同国家、地区和名族，都有不同的色彩偏好。

3. 目视管理要求

推行目视管理，要防止形式主义，一定要从企业实际出发，有重点、有计划地逐步展开。



在这个过程中,应做到的基本要求是:统一、简约、鲜明、实用、严格。统一即目视管理要实行标准化,消除杂乱现象;简约即各种视觉显示信号应易懂,一目了然;鲜明即各种视觉显示信号要清晰,位置适宜,现场人员都能看得见、看得清;实用即不摆花架子,少花钱、多办事,讲究实效;严格即现场所有人员都必须严格遵守和执行有关规定,有错必纠,赏罚分明。

12.3.4 5S管理

5S 管理就是整理 (SEIRI)、整顿 (SEITON)、清扫 (SEISO)、清洁 (SETKETSU)、素养 (SHITSUKE) 五个项目,因日语的罗马拼音均以“S”开头而简称 5S 管理。5S 管理起源于日本,通过规范现场、现物,营造一目了然的工作环境,培养员工良好的工作习惯。其最终目的是提升人的素质,养成良好的工作习惯:革除马虎之心,凡事认真;遵守规定;自觉维护工作环境整洁明了;文明礼貌。这些对于企业发展具有深远的意义。

5S 管理是用来建立和保持质量环境的一种有效措施。它能从根本上改变企业管理秩序、现场环境等,使企业能实施有序管理,实现“今天比昨天好,明天比今天更好”的目标;它简单易行,能杜绝或减少浪费,提高生产力和质量,从而有利于降低成本、提高效率、保障安全;5S 管理不仅能明显地改善现有物资环境,而且还有助于改善人们的思维过程和不良习惯,进而为企业追求卓越绩效奠定扎实的基础。

1. 整理

整理是指明确区分必要和不必要的物品,清楚不必要的物品,将必要品的数量降低到最低限度,并把必要品放在一个方便拿出的地方。整理的目的是腾出空间,空间活用,改善和扩大作业面积;现场无杂物,行道通畅,提高工作效率;消除混放、混料等差错,防止误用、误送;减少磕碰机会,保障安全,提高质量;有利于减少库存,节约资金;创造清爽宜人的工作场所,提高员工的工作情绪。

(1) 实施

整理活动通常可按照如下过程实施。

- 对自己的工作场所进行全面检查,包括看得到和看不到的。
- 制定“需要”和“不需要”的判别标准。
- 将不需要物品清除出工作场所。
- 对需要的物品调查使用频度,决定日常用量及放置位置。
- 制定废弃物处理方法。
- 每日自我检查。

(2) 注意事项

整理活动的关键是要有决心,不需要的物品应断然地加以处置。在实施过程中需注意以下事项。

- ① 分层管理。分层管理要先判断物品的重要性,再减少不必要的积压物品。同时,分



层管理还确保了必要的东西就在手头,从而有利于获得最高的工作效率。良好的分层管理的关键在于有能力判断物品的使用频率及确保物品放在适当的地方。

② 区分“需要”和“想要”。一般来说,人们主观上总是想要收集东西以备不时之需,因此,管理者必须下决心帮助员工克服在保存物品方面的保守主义倾向。

③ 一就是最好。遵循“一就是最好”的原则,做到简单而不积存。例如,一套文具、只有一页纸的表格、文件放在一个地方。

整理活动的重要性在于坚决把现场不需要的东西清理掉,做到进入现场看不到任何无用之物。坚持做到这一点是树立良好作风的开始。效率和安全始于整顿。

2. 整顿

整顿是把需要的人、事、物加以定量、定位。通过整顿后,对生产现场必须留下的物品进行科学、合理的布置和摆放,以便最快速取得所要之物。整顿的目的在于使得工作场所整整齐齐、一目了然,消除找寻物品的时间,消除过多的积压物品、提高工作效率、提高产品质量、保障生产安全。即把要用的东西按规定位置摆放整齐,做好标识,不但便于拿取,还应在用完后放回原处。要在最简洁有效的规章、制度、流程下完成事务。整顿是提高效率的基础。

(1) 实施

整顿活动通常可按照如下过程实施。

- ① 前一个步骤整理的工作要落实。
- ② 需要的物品明确放置场所。
- ③ 摆放整齐、有条不紊。
- ④ 地板画线定位。
- ⑤ 场所、物品进行标识。
- ⑥ 制定废弃物处理方法。

整顿的三要素是场所、方法、标识。物品的放置场所原则上要 100% 设定,物品的保管要定点、定容、定量,生产线附近只能放真正需要的物品。放置方法是要易取,不超出所规定的范围。标识要使得放置场所和物品原则上一对一。整顿遵循的“三定”原则是定点、定容、定量。定点是指放在哪里合适;定容是指用什么容器、颜色;定量是指规定合格的数量。

(2) 注意事项

整顿活动在实施过程中需要注意的事项如下所述。

① 分析现状。应在分析人们如何取放东西,花了多少时间的现状基础上研究整顿的重点和措施。例如,一般取放东西浪费时间的原因有不知道要取的东西叫什么、不知道存放在哪里、存放地点太远、重复往返、难于找到、没有标识、存放地点处物品去向不明、拿来的东西有问题、太大拿不起、太重拿不动、没有运输通道。

② 确定物品分类实行标准化操作。对于必须保留的物品制定标准化的操作规范和管理制度。由于人们常常记不住物品的存放地点,因此人们将物品返回原处花费的时间更长。若一件物品有正式名称和俗称,就必须决定只能用其中的一种名称,以免造成混乱。



③ 确定物品如何储存。储存物品首先应考虑到后期便于取出。每件物品都应有储存地点。储存地点应指明物品所在架位，应坚持每件物品都有一个名称，每件物品都有一个存放地点且都在它该放的地点，容易辨识，安全存放，存放高度适于人们取放。

④ 合理储存。存货管理应遵循目视管理要求，避免库存告罄，确定物品最低库存水平，标明正在订购过程中的物品、正在使用过程中的物品和归还时间，对丢失物品应清查丢失数量并编制遗失物品清单。

⑤ 公告与标语管理。公告和标语是重要的沟通工具，应纳入整顿范畴，张贴地点要定置，注明其有效期，尺寸和贴法均应规范化。

实施整顿前后的效果如图 12.1 和图 12.2 所示。



图 12.1 整顿前

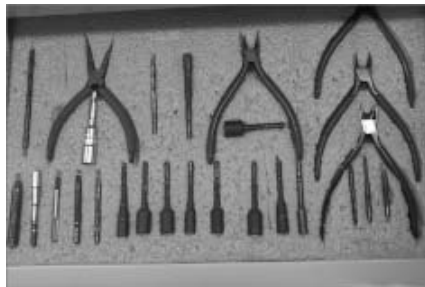


图 12.2 整顿后

3. 清扫

清扫是把工作场所扫干净，包括设备、工具、地面、墙壁等，使工作环境整洁和清爽。更深层次的清扫是指点检，即每个员工每天进行定点清扫和检查。清扫的目的是在于清除脏污，保持职场内干净、明亮，稳定品质，减少工业伤害。尤其目前强调高品质、高附加价值产品的制造，更不允许有垃圾或灰尘的污染，造成品质不良。

(1) 实施

清扫活动通常可按照如下过程实施。

- ① 建立清扫责任区（室内、外）。
- ② 执行例行扫除，清理脏污。
- ③ 调查污染源，予以杜绝或隔离。
- ④ 建立清扫基准，作为规范。
- ⑤ 开始一次全公司的大清扫，每个地方清洗干净。

(2) 注意事项

清扫的关键是责任化和制度化，清扫活动在实施中需注意如下事项。

- ① 每个人都是清洁工，自己使用的物品以及周围的工作环境要自己清扫，而不是依赖别人，更不需要增加专门的清洁工。同时，每个人都要自觉地爱护工作环境，防止其变脏。
- ② 对设备的清扫着眼于维护保养，如点检。
- ③ 划清各自负责清扫的区域，并肩负起相应的责任。



④ 清扫的同时注意改进。

⑤ 注意脏物可能引起的问题，例如，设备上掉下的东西可能会进入产品，脏物使电气设备短路引起火灾。

实施清扫前后的效果如图 12.3 和图 12.4 所示。



图 12.3 清扫前



图 12.4 清扫后

4. 清洁

清洁是指持续不断地坚持常整理、常整顿和常清扫活动，认真维护，使生产和工作现场保持良好状态。清洁是前三项活动的坚持和深入，能够消除发生安全事故的隐患，创造一个良好的工作环境。清洁的目的是在于维持上面 3S 的成果，强调目视管理和 5S 规范，即制度化。

(1) 实施

清扫活动通常可按照如下过程实施。

- ① 落实前 3S 工作。
- ② 制定目视管理的基准。
- ③ 制定 5S 实施方法。
- ④ 制定考评、稽核方法。
- ⑤ 制定奖惩制度，加强执行。
- ⑥ 高层主管经常带头巡查，带动全员重视 5S 活动。

(2) 注意事项

清洁的关键是制度化和定期检查，清洁活动在实施过程中需注意如下事项。

- ① 目视管理。强调目视管理是持续改进的有效手段。
- ② 观看的条件。在清洁活动中，应创造条件使人们易于识别过程的特征。
- ③ 透明度。尽可能提高过程透明度，使之处于随时可被监督的状态。
- ④ 故障地图。带有故障发生地点、安全区、疏散方向等标识的厂区平面图称为故障地图。这种故障地图应挂在明显的地方。
- ⑤ 量化。对清洁活动不断进行测量，量化其结果并进行统计分析，发现主要问题缺陷，采取相应措施，以免酿成更大损失。



5. 素养

如果说前 4 个 S 使企业现场条理化,那么素养就是使企业管理规律化,确保企业规章制度得以有效实施,生产率得以提升。素养的目的在于提升人的素质,提高员工的文明礼貌水准,增强团队意识,使员工对任何工作都讲究认真,养成按规定行事的良好工作习惯。素养是 5S 活动的核心,5S 始于素养,终于素养。

(1) 实施

素养活动通常可按照如下过程实施。

- ① 制定服装、臂章、工作帽等识别标准。
- ② 制定公司有关规则、规定。
- ③ 制定礼仪守则。
- ④ 培训(新进人员强化 5S 教育、实践)。
- ⑤ 推动各种素养提升活动(晨会、例行打招呼、礼貌运动等)。
- ⑥ 推动各种激励活动,遵守规章制度。

(2) 注意事项

素养的关键是长期坚持,这样才能养成良好的习惯。素养活动在实施过程中需注意以下事项。

① 自律原则。自己动手创造的成果更容易保持和坚持下去。开展 5S 活动,要立足于自我管理原则。应当充分依靠现场人员,由当事人自己动手来创造一个整齐、清洁、方便、安全的工作环境,养成遵章守纪、严格的工作作风。

② 灌输原则。提高素养、做到自律,就需要向每个人不断灌输按照规定方式做事的能力,要强调创造一个具有良好习惯的工作场所,引导每个人应该如何做事并让他们付诸实施,在这个过程中养成好习惯,抛弃坏习惯。

③ 强调纪律。纪律是保证生产、工作和生活能有序进行的基本条件。遵守纪律是一个反复实践的过程,加强纪律重要性的宣传和教育。

④ 重视自觉。自律是建立在自觉性基础上的,只有自觉才能保证日常工作的连续性。

6. 5S 的实施和管理

(1) 实施步骤

实施 5S 必须从上到下做出承诺,并有计划地知道组织分步实施,才能扎实地推进。具体实施步骤如下所述。

- ① 获得最高管理者的承诺并做好准备。
- ② 拟定并实施 5S 活动的推行计划。
- ③ 针对性培训,提高每个人开展 5S 活动的能力。
- ④ 评估奖惩。



(2) 实施过程中需注意的事项

- ① 明确职责。要实现成功推行 5S 就必须将每个员工的 5S 职责明确, 并使其简明、清晰可见, 以便员工明确自身肩负的行为准则, 实现企业提升生产效率的初衷。
- ② 设定行为和作业标准。应规定员工的行为和作业标准, 员工应遵守标准并记录在案。
- ③ 成功依赖于高效管理。推行 5S 活动需要高效的管理, 实时发现并解决问题。

(3) 5S 管理

5S 管理的效果也可以归纳为 5 个 S, 即 Sales、Saving、Safety、Standardization、Satisfaction。

① 5S 管理是最佳推销员 (Sales): 被客户称赞为干净整洁的工厂, 使客户有信心, 乐于下订单; 会有很多人来厂参观学习, 会使大家希望到这样的工厂工作。

② 5S 管理是节约家 (Saving): 降低不必要的材料、工具的浪费; 减少寻找工具、材料等的时间; 提高工作效率。

③ 5S 管理对安全有保障 (Safety): 宽广明亮、事业开阔的职场, 遵守堆积限制, 危险处一目了然; 走道明确, 不会造成杂乱情形而影响工作的顺畅。

④ 5S 管理是标准化的推动者 (Standardization): 3 定 (定点、定量、定人)、3 要素 (场所、方法、标识) 原则规范作业现场, 大家都按照规定执行任务, 程序稳定, 品质稳定。

⑤ 5S 管理形成令人满意的环境 (Satisfaction): 创造明亮、清洁的工作场所, 使员工有成就感, 能造就现场全体人员进行改善的气氛。

12.3.5 TCI 活动

持续改进 (Total Continuous Improvement in production field, TCI) 为生产领域全面持续改进活动, 是职工自发组建、开展的小组活动, 通过发挥团队的聪明才智来解决组织部门问题, 以提高生产质量和效率, 消除和减少生产现场的 7 种浪费, 构成精益生产模式, 最终达到降低成本的目的。它能够提高职工的自身能力, 实现个人价值; 使得作业标准化、标准规范化、规范可视化; 提高生产效率, 降低成本。TCI 是中兴通讯结合自身特点所创造的一项自发现场改善活动。

1. TCI 活动的组织和管理

TCI 活动组织架构包括领导小组、推动小组、执行部门和活动部门接口人。

① TCI 领导小组: 由组织的高层和中层领导组成, 确定组织公司内部 TCI 活动方针政策, 对各部门工作提出统一要求。

② TCI 推进小组: 以质量部为主, 负责活动策划、管理办法制定、培训教材编制、组织层面的技能培训、优秀项目评审工作。

③ TCI 执行部门: 活动具体执行单位, 由职工自发组建 TCI 活动小组, 营造一种全面生产现场持续改进的良好氛围。

④ TCI 活动部门接口人: 负责制定部门 TCI 活动的年度规划, 收集和整理活动项目, 交流经验和推广项目, 项目结项时进行部门确认和内审。



2. TCI 活动的内容

(1) 7 种浪费

TCI 活动是针对现场的 7 种浪费采取的行动。浪费是指不能提高附加价值的各种现象或结果,这 7 种浪费如下。

① 等待的浪费:因停工待料、作业不平衡、计划不当、质量不良等导致作业者处于等待状态。

② 搬运的浪费:物料的放置、堆积、移动、整理等浪费。

③ 生产次品的浪费:车间生产出次品,需要进行处置的时间、人力、物力上的浪费,以及由此产生的相关浪费。

④ 动作的浪费:现场作业动作不合理造成的浪费。

⑤ 加工自身的浪费:过分精确的加工或多余的加工,造成不必要的人工浪费。

⑥ 库存的浪费:库存是万恶之源,库存量过大,资金积压将增多。

⑦ 制造过多(过早)的浪费:非适时生产将造成库存量过大,资金积压过多。

⑧ TCI 活动通过确定目标、制订计划进度、分析思路、选定分析的原因变量、收集数据、整理数据、运用 QC 这 7 大工具进行图表分析,最终输出结果和解释。

(2) 分析方法

① 高效会议:召开会议之前,必须有明确的会议目的;邀请正确的与会者;与会者必须事先做好准备;有效使用视觉辅助;把信息分享和解决问题区分开;准时开会与结束会议。

② 头脑风暴:选出协调人和记录人;确定并写下要讨论的问题;确定合适的头脑风暴方式;自由发言式、轮流发言式、指定发言式或接力发言式;发言时记录所有的观点;不要打断发言人,不要做任何评论;确认所有的观点都被列出,以保证穷举性;统一归纳、整理大家提出的观点。

③ 连问 5 个“为什么”。自问自答 5 个“为什么”,可以查明事情的因果关系或者隐藏在背后的“真正原因”,也就能找到解决方法。

- QC7 大工具。
- 检查表。
- 层别法。
- 柏拉图。
- 鱼骨图。
- 分布图。
- 直方图。
- 控制图。

TCI 活动利用以上工具,分析关键要因、实施解决措施、比较目标、评价改善结果。TCI 活动遵循 PDCA 循环,持续改进,最终实施“三化”监控成果,按模板填写“一页纸”展示文档,领导签字确认后小组活动圆满结束。



思 考 题

- ① 什么是质量方针？如何制定质量方针？
- ② 为什么说质量目标是质量策划的核心内容？现代电子装联有哪些质量指标？
- ③ 质量保证的关键是什么？
- ④ 简述质量控制的目的和要求。
- ⑤ 现代电子装联质量改进的方法有哪些？每种方法的特点和作用是什么？
- ⑥ 简述影响现代电子装联过程和质量的因素。
- ⑦ 为什么说人是影响质量的最关键因素？如何进行人员的管理？
- ⑧ 简述工艺管理的内容和方法。
- ⑨ 什么是定置管理原则？定置的方法有哪些？简述如何进行定置管理。
- ⑩ 目视管理的作用是什么？目视管理的内容是什么？
- ⑪ 什么是 5S？简述 5S 管理的基本要求。
- ⑫ 简述 TCI 活动的阶段和步骤。

参考文献

- [1] 前田真一. 見てわかる高密度実装技術. 工業調査会, 2003.04.
- [2] 春日壽夫・宇都宮, 久修・遠藤 隆弘. 高密度実装技術なぜ 100 問. 工業調査会, 2003.03.
- [3] 春日壽夫. 超小型パッケージ CSP/BGA 技術. 日刊工業新聞社, 2001.09.
- [4] 春日壽夫. 実用化進む超小型パッケージ CSP 実装技術. 日刊工業新聞社, 2003.05.
- [5] 濱田正和. マイクロソルダリング技術. 日刊工業新聞社, 2002.04.
- [6] 佐竹博. プリント配線板の熱設計. 産業図書株式会社, 1997-9-10.
- [7] 窪田雅男, 鶴釋高专. 電子通信装置の機械設計. 森北出版社, 1979.
- [8] NPO サ-キットネットワーク プリント板と実装技術. 日刊工業新聞社, 2005, 05.
- [9] 日本半導体封裝委員会. エレクトロニクス実装技術學會志, 2005, 1.
- [10] 況延香, 朱頌. 現代微電子封裝技術. 四川省電子學會 SMT 专委会, 1998, 12.
- [11] 樊融融. 現代電子裝联无鉛焊接技術. 北京: 電子工業出版社, 2008.
- [12] 樊融融. 現代電子裝联波峰焊接技術基礎. 北京: 電子工業出版社, 2009.
- [13] 樊融融. 現代電子裝联再流焊接技術. 北京: 電子工業出版社, 2009.
- [14] 樊融融. 現代電子裝联工藝過程控制. 北京: 電子工業出版社, 2010.
- [15] 樊融融. 現代電子裝联工藝可靠性. 北京: 電子工業出版社, 2012.
- [16] 樊融融. 現代電子裝联工藝缺陷及典型故障 100 例. 北京: 電子工業出版社, 2012.
- [17] 樊融融. 現代電子裝联工程應用 1100 問. 北京: 電子工業出版社, 2013.
- [18] 樊融融. 現代電子裝联工藝裝備概論. 北京: 電子工業出版社, 2015.
- [19] 樊融融. 現代電子裝联工藝規範及標準體系. 北京: 電子工業出版社, 2015.
- [20] A.П.里納舍夫. 微電子設備結構設計原理. 北京: 計量出版社, 1985.
- [21] K.П.波利亞科夫. 電子設備的結構設計. 北京: 科學出版社, 1986.
- [22] WEC-6801. 積層/高密度互連 (HDI) 印制板的術語及定義、試驗方與設計方例.
- [23] IPC-6016. 高密度互連 (HDI) 層或板的鑑定與性能規範.
- [24] IPC/EIA J-STD-001. 電氣、電子組件焊接技術要求.
- [25] IPC-A-610. 電子組裝件的驗收條件.
- [26] IPC/EIA J-STD-005. 焊膏技術要求.
- [27] J-STD-020. 塑封表面器件對潮濕和再流焊的敏感度分級.
- [28] J-STD-033. 濕度敏感表面貼裝無器件的處理、包裝、運輸及使用標準.
- [29] IPC-L-125. 高速/高頻塑性基板特性規範.
- [30] IPC-BP-421. 帶壓接連接器的剛性印制背板通用技術規範.
- [31] IPC-CM-770. 印制板元件安裝.
- [32] IPC-MC-790. 多芯片模塊技術應用指南.
- [33] IPC-AJ-820. 組裝和連接手冊.
- [34] IPC-0040. 光電子裝配與封裝技術.
- [35] IPC-7095. BGAs 設計和組裝過程的實施.



- [36] IEC 61191.2. 印制板组装件.第2部分 表面安装焊接组装要求.
- [37] MIL-P-11268. 电子通信设备中使用的元件、材料及工艺过程.
- [38] 杨邦朝.HIC、MCM 和 SiP.
- [39] J.H. Lau, Flip Chip Technologies, McGraw-Hill, 1995.
- [40] Internal Siemens preliminary research results.

跋

产品设计、产品制造、产品营销是一个公司谋发展、创效益中的三驾马车，三者缺一不可。产品制造是连接产品设计和产品营销间的桥梁。产品设计人员精心设计出来的产品蓝图，只有经过制造人员的精工细作，才能将设计蓝图变成制作精良、性价比好、市场竞争力强的商品，并通过产品营销源源不断地供应市场。产品性能先进，质量优良既是设计人员精心设计出来的，也是靠制造人员精雕细刻制造出来的。设计与制造是相辅相成的。俗语说“红花还需绿叶衬”，好的设计理念还必须有精良的制造技术才能形成有竞争力的商品。制造水平低下，粗制滥造，再好的设计也决不可能被市场接受，“优者胜、劣者亡”，这就是市场对商品的淘汰法则。在选购小型机、电产品方面，人们都愿意选购日本和德国生产的产品，就是因为他们的产品制作精良。

产品制造技术的核心是产品的工艺技术，多年来我国一直流行着“先进的设计，落后的工艺”的说法。这确实映射了我国工业产品（特别是电子产品）生产中所存在的问题。这也正是横在我国由电子制造大国奔向电子制造强国的征途上必须要攻克的堡垒，否则实现世界电子制造强国就是一句空话。美国是世界上第二个发射卫星的国家，就是这种提高国家威望的大事，也曾因为一点小事（焊接）而受到挫折。据说，卫星的发射成功，最终还是多亏了德国的“焊接之神”阿尔宾·威德曼先生的帮助。从此，诞生了美国国家航空航天局（NASA）焊接学校。

广义的工艺技术即产品的制造技术，它包括从产品设计的可制造性（DMF）、可检测性（DMT）、可维修性（DFS）约束、原材料进厂的工艺性要求、加工制造诸元（人、料、机、法、测、环，即5M1E）的优化和控制、对应用环境的防护（即三防）措施等全部加工制造和管理技术的总和。

工艺技术工作是一门为提高企业的劳动生产效率、提高产品制造质量、节能降耗、降低成本、增加利润的综合性的产品制造技术。它是以“时间”、“空间”、“效率”、“能源”等为基础，对加工制造方法和顺序、生产手段、工作环境、组织机构、人力资源和结构、质量控制等不断优化为研究对象的科学。我们对工艺技术研究就是为了寻求经济、高效的加工方法去制造某种产品。因此，工艺技术亦是研究优质、高产、低消耗、高利润地生产产品的制造原理和加工方法的一门科学。

工艺技术在科技领域里处于科技成果和生产成品之间，是一个独立的发展阶段。它是将科技成果转化为商品，设计样品转化为批量生产的产品供应市场的关键和桥梁。采用先进的工艺技术，可直接为企业增加经济效益，提高市场竞争力。

工艺技术是产品制造过程中最活跃的因素，是产品制造质量的技术基础，加强工艺技术的不断进步是提高产品质量的前提。整个产品生产制造过程是以工艺技术为核心的系统工程，各个工序的工艺质量的总和即构成了整个产品的制造质量。

在科学技术高度发展的今天，工艺技术研究越来越被各企业所重视，越来越显示出它的重要性。任何一种新产品的设计或一项新的应用性发明创造都伴随着新的工艺试验研究过程。



国外始终把工艺技术和试验放在突出的位置上,据有关统计资料反映,美国在工业范围内各研究阶段投入的资金和人力比例是:如果基础理论研究为 1,则应用研究为 5,产品开发研究为 20,生产技术研究为 300。也就是说工艺技术研究投入是产品开发研究的 15 倍。重视不重视工艺研究和试验,直接影响到产品质量的提高和经济效益的增长。我们有些企业采用同一种原料,应用同一种工艺装备,采用大致相同的工艺,然而生产出的产品质量却不同,经济效益也不一样。这里就有一个生产诀窍问题。而生产技术上的诀窍就是加工技术方法,也就是工艺技术中的一种最佳的方案,最佳的工艺参数。这些“关键”和“诀窍”很多是“一点就明,一捅就破”的。然而要获得它,就必需要经过工艺技术和试验才能得到。

中兴通讯是世界级大型通信设备供应商,拥有世界一流、配套完整的生产工艺装备体系,加上公司品种繁多的产品类型,这些都是发展现代电子工艺技术的得天独厚的条件。长期以来,在公司创始人侯为贵董事长的重视下,在公司总裁史立荣先生的关怀下,在执行副总裁邱未召先生的直接领导下,公司的工艺技术与时俱进,不断地发展着。公司的最高领导层始终本着“科技是第一生产力,人才是第一资源”的原则,谋划公司工艺技术和工艺人才的成长。按照“以师带徒,理论与实践结合,干中学,学中干”等模式,一些人已成长为公司工艺技术工作的核心(如研究部的刘哲、制造中心的邱华盛),也有年轻的科技人员已成长为解决产品生产问题的能手(如制造中心工艺部的孙磊和史建卫)。

“欲穷千里目,更上一层楼”,在以侯为贵董事长为首的公司最高层的部署下,公司成立了中兴通讯电子制造职业学院。按照初级、中级和高级的人才培养层次的需要,公司与电子工业出版社合作,共同出版了《现代电子制造系列丛书》,既可作为学院的教材,也可奉献给电子制造业界的同行参考。

中兴通讯《现代电子制造系列丛书》编写组

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任 and 行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396；(010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

